PA-II-286

TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA

DEI SIGNORI

A. PRIVAT-DESCHANEL — già professore al Liceo Louis-Le-Grand ed ispettore all'Accademia di Parigi

J. PICHOT — Allievo della Scuola Politecnica di Parigi e professore al Liceo Louis-Le-Grand

TRADOTTO DAL

DOTT. A. A. POZZI

già assistente alla cattedra di Fisica nel R.° Istituto Tecnico di Milano e professore di Fisica Applicata nella R.ª Scuola Professionale di Vigevano.

OPERA DESTINATA

ALLE SCUOLE SECONDARIE CLASSICHE E TECNICHE || ALLE SCUOLE NORMALI ED ALLA COLTURA GENERALE

ILLUSTRATA DA 747 INCISIONI NEL TESTO E DA UNA TAVOLA CROMOLITOGRAFICA CON MOLTE AGGIUNTE ORIGINALI DESTINATE A PORLA AL CORRENTE COLLE ULTIME SCOPERTE E CORREDATA DI UN'

APPENDICE SULLA MECCANICA

SECONDO I PROGRAMMI GOVERNATIVI

BIBLIOTECA DELLE FACOLTÀ DI LETTERE E FILOSOFIA TORINO

LIBRERIA DI GIORDANO GIUSEPPE SUCCESSORE SALOMONE CUNEO

MILANO

FRATELLI DUMOLARD

1879.

812861

L47629 | 286

Coi tipi di A. Lombardi

PREFAZIONE

Da molto tempo ci si faceva domanda di un trattato Elementare di Fisica, il quale, mentre sapesse rispondere ai bisogni delle nostre scuole secondarie, potesse anche, trattando estesamente la parte sperimentale, corrispondere al sempre crescente bisogno della coltura generale, in vista delle applicazioni a cui, questa scienza tanto vasta, dà origine.

Abbiamo pertanto creduto di rispondere a questo bisogno, pubblicando la versione italiana del trattato di Fisica dei signori A. Privat-Deschanel e J. Pichot, affidando, in pari tempo, all'esperienza dal traduttore, prof. A. A. Pozzi, acquistatasi col lungo esercizio nell'insegnamento, l'incarico di fare all'originale quelle aggiunte, che fossero opportune, a rendere viemeglio utile il testo alle nostre scuole, ed a porlo al corrente colle incalzanti scoperte ed invenzioni della scienza. L'esposizione chiara e piana dell'opera, lo sviluppo completo ed armonico delle diverse parti della materia, l'avvertenza di far risultare lo spirito delle nuove teorie e la correlazione dei diversi fenomeni, più dal raffronto dei fatti che dalla discussione delle teorie stesse; la cura di anteporre ad ogni singola parte una breve introduzione, destinata a far conoscere lo scopo e la storia di ciascuna di esse, e l'altra, non meno utile, di mostrare, facendone la sintesi, l'importanza di un dato ordine di fenomeni nelle vicende della natura, sono i requisiti che, dietro il parere di persone illuminate, ci decisero a dar la preferenza a questo trattato, nel tracciare il quale, l'Autore fece tesoro degli insegnamenti, ricavati in più di venti anni passati nell'istruzione pubblica.

Abbiamo voluto che l'opera riescisse splendidamente illustrata, sembrandoci pur questo un requisito importante, in vista, dell'impossibilità nella quale si trovano molte scuole di possedere i più costosi apparecchi, e dell'utilità del libro allo sviluppo della coltura generale; giacchè l'opera, come lo dichiara l'Autore stesso nella sua prefazione, è tracciata in modo da corrispondere al doppio scopo sopra accennato. Tralasciando i capitoli risguardanti i metodi di misurazione, e gli altri che prendono in esame più particolareggiato certe parti della materia, il testo fornisce un esteso trattato di fisica puramente sperimentale, utile anche alle persone non iniziate alle calcolazioni algebriche, mentre, l'intiera opera, forma un trattato completo sotto ogni riguardo; il coordinamento è tanto maestrevolmente condotto che, non solamente ciascuno, per così dire, dei due trattati, non si risente di sforzo alcuno, ma anzi, la trattazione completa in modo sperimentale, rende più agevole l'intelligenza degli argomenti stessi trattati col calcolo. Noi abbiamo creduto utile pel lettore, di rendere evidente la distinzione, usando nel testo di due caratteri diversi.

Dal canto nostro poi, nulla abbiamo trascurato onde l'opera possa aquistarsi il favore del lettore, anche dal lato tipografico, e saremo ben lieti, se i nostri sforzi potranno riescire di giovamento alla istruzione ed alla coltura generale, ed avviare allo studio delle eccellenti opere di Fisica, delle quali è ricca anche l'Italia.

GLI EDITORI.

TRATTATO ELEMENTARE
DI FISICA

CAPITOLO I.

DEFINIZIONI.

1. Origine della fisica. — La fisica ha per oggetto lo studio del mondo esterno, dei fenomeni da esso presentati, delle leggi che li reggono, delle applicazioni che se ne possono fare ai diversi bisogni. È un ramo della filosofia generale il quale, occupandosi esclusivamente dei fatti che risguardano la materia, ha ricevuto il nome significante e felice di filosofia naturale (φυ'σις, natura). Così intesa la fisica risale evidentemente all' origine del mondo, giacchè, da quando l' uomo ebbe vita, dovette necessariamente esser colpito e dallo spettacolo del cielo e dal quadro continuamente rinnovantesi dei fenomeni terrestri. Ma osservazioni staccate e più o meno vaghe, l'ammirazione sterile per fenomeni che attirano l'attenzione ed eccitano la curiosità, non costituiscono la scienza; questa risulta da un'assieme di dottrine esatte, nelle quali i fatti vengono ravvicinati e studiati dal punto di vista delle cause che li producono. Questo lavoro di coordinazione non è possibile che allorquando siensi potuti raccogliere un gran numero di fatti; ma allora diventa inevitabile in causa dell' essenza stessa dello spirito umano. Così, consultando la storia dei popoli a cui si riferisce l'origine della civiltà moderna, si possono constatare gli sforzi costanti dei filosofi diretti a spiegare il meccanismo del mondo esteriore, per sottoporre ad una teoria, ad un sistema l' insieme dei fatti presentati dalla natura. I filosofi greci in particolare, i quali del resto avevano tolta la maggior parte delle loro cognizioni in fisica ai preti egiziani, hanno lasciato differenti sistemi coi quali avevano la pretesa di spiegare tutti i fenomeni della natura. Noi non cercheremo di interpretare il significato esatto delle loro proposizioni, che, prese nel senso letterale, possono oggigiorno sembrare assai oscure; pur riconoscendo che questi illustri filosofi hanno inse-

gnato e conosciuti alcuni fatti importanti di fisica generale, facciamo notare che, nell'elaborazione dei loro sistemi, l'esperienza non aveva alcuna importanza, l'osservazione stessa non interveniva che in modo secondario e che le loro teorie erano vere concezioni *a priori*, alle quali poi si cercava di adattare i fatti. Nei loro lavori nulla si trova che si ravvicini al metodo sperimentale che serve di fondamento alla fisica moderna.

Questo metodo sembra fosse presentito da Aristotile (383 av. G. C.), discepolo di Platone, il quale possedeva un genio scientifico ben superiore a quello del suo maestro, celebre naturalista la di cui storia degli animali costituisce un vero monumento imperituro. Così, per esempio, onde rendersi ragione del peso dell'aria, Aristotile ricorse ad un' esperienza diretta consistente nel pesare un' otre, dapprima gonfia d' aria e poi sgonfia. Non avendo però trovato alcuna differenza di peso ne dedusse, a torto, che l'aria non è pesante, e fu così condotto, per spiegare diversi fenomeni, al famoso principio dell' avversione della natura pel vuoto, principio universalmente ammesso fino al tempo di Galileo.

Gli è specialmente nelle mani di Archimede (287 av. G. C.), e degli scienziati della scuola di Alessandria, i quali possono considerarsi come suoi successori, che il metodo di osservazione assume forma più precisa e dà origine ad importanti risultati. Sono comunemente note le importanti scoperte d'Archimede relative alla teoria della leva, alla determinazione del centro di gravità, alla misura del peso specifico, effettuato col principio che porta il suo nome; scoperte nate da una maniera di esperimentare senza dubbio poco precisa, ma che, nello spirito dell'inventore, poteva da sola servire di solido fondamento alle sue meditazioni. Prima di lui Ipparco (140 av. G. C.) col mezzo di osservazioni perseveranti e metodicamente dirette, rinnova la faccia dell'Astronomia, arriva alle più brillanti scoperte, fra le quali è notevole quella della precezione degli equinozi. Più tardi Clesibio, Erone, Possidonio, ecc., seguendo le traccie dei loro illustri predecessori, allargarono il dominio delle conoscenze esatte già raccolte, ed immaginarono diversi apparecchi più o meno ingegnosi; sembra che si debba al primo di questi scienziati l'invenzione delle pompe, ed ognuno sa che la fontana di Erone si vede ancora nei gabinetti di fisica.

Fra gli scienziati che scendono più o meno direttamente dalla scuola d'Alessandria e che hanno arricchita la scienza di qualche scoperta importante, noi citiamo solamente Plutarco, che fece conoscere la refrazione che subisce la luce nel passare attraverso all'aria ed all'acqua, e Tolomeo autore di lavori importanti sull'ottica e sulla fisica celeste, lavori che costituiscono per lui un titolo di gloria ben più solido del sistema astronomico che porta il suo nome

e che non ebbe altro effetto che di ritardare i progressi della scienza.

Non spingiamo oltre questo sguardo storico, solamente facciamo osservare come, a partire dal settimo secolo, epoca della conquista d'Alessandria fatta dagli Arabi e dell' incendio della celebre biblioteca di questa città, fino a Galileo (1564), si noti una specie di interruzione nello sviluppo della scienza. Ciò non ostante, qualche scoperta importante si riferisce a questa epoca; come per esempio, quella della bussola, conosciuta nel secolo decimoterzo. Poco tempo prima di Galileo, il termometro, il microscopio ed i cannocchiali avevano preso origine; ma è incontestabilmente a questo illustre scienziato che si deve il vero metodo scientifico, il metodo sperimentale. Le sue memorie sulla caduta dei gravi, sul pendolo, ecc., forniscono degli ammirabili esempi del modo con cui il fisico deve per mezzo dell'esperienza interrogare la natura. Gli è entrando in questa via che la fisica si è definitivamente liberata dal pregiudizio, dai principi a priori che ne avevano fino allora incagliato il cammino.

Oggigiorno, dopo le scoperte senza numero che hanno condotto una profonda modificazione nello stato sociale, la fisica ha raggiunto un grado assai notevole di perfezione; gli è al metodo esperimentale che si deve questo risultato, gli è nel mantenervisi fedeli che si può sperare in nuovi progressi.

2. Metodo sperimentale. — Il metodo sperimentale è facile a definirsi in modo generale: esso consiste nell' osservare i fatti, invece di cercar di indovinarli; nell'esaminare con cura come accadono i fatti stessi e non nel cercare come dovrebbero accadere. È dunque un metodo affatto estraneo alla metafisica, la quale devesi considerare come un formidabile nemico; finchè infatti essa ha regnato, la scienza è rimasta stazionaria, essa non si sviluppò che quando, grazie agli insegnamenti di Bacone e sopratutto di Galileo, venne ammesso che non si devono ritenere per verità fisiche che quelle derivanti dall'osservazione e dall'esperienza.

Nel linguaggio filosofico il metodo sperimentale porta il nome di *osservazione* e di *induzione*. Dall'osservazione dei fatti particolari esso risale alla legge generale della loro produzione, ed in ciò è ben diverso del metodo di *deduzione* impiegato in matematica, col quale si scende sempre da un principio ben certo ed assoluto alle diverse conseguenze che ne derivano. A meglio chiarire le cose dette a questo proposito, entriamo in qualche dettaglio.

3. Fenomeno - Legge fisica. — Fenomeno è un cambiamento qualunque nello stato attuale di un corpo; la caduta di una pietra, lo scorrere dell'acqua, la fusione del piombo, la combustione del legno ecc., sono fenomeni. Quando si studiano le particolarità di fe-

nomeni di uno stesso genere, si riconosce facilmente che le diverse circostanze della loro produzione sono mutuamente dipendenti l'una dall'altra così che, se una di esse varia, le altre provano variazioni corrispondenti. L' espressione di questo modo di variare costituisce la legge fisica.

Qualche volta la legge si rende evidente da sè stessa senza difficoltà colla sola osservazione; tale è per esempio la seguente: *Tutti i corpi abbandonati a sè stessi cadono.* Più spesso però la legge riesce mascherata da cause perturbatrici, delle quali bisogna, per quanto è possibile, eliminare l'influenza. È questo appunto lo scopo dell' esperienza. L' esperienza differisce dall' osservazione in ciò che il fenomeno si compie sotto condizioni determinate e regolate dapprima dal fisico. Si vuol, per esempio, conoscere qual' è la velocità che la gravità imprime ai diversi corpi? non bisognerà farli cadere nell' aria giacchè questo fluido ritarda, ed in modo diverso per ciascuno di essi, il moto; bisogna operare nel vuoto e si giunge allora alla seguente legge che la semplice osservazione non avrebbe potuto far scoprire: *La gravità induce in tutti i corpi la stessa velocità.*

Si capisce allora che l'arte di sperimentare, vale a dire di regolare le condizioni speciali secondo le quali si compiono i fenomeni e di misurarne gli elementi costitutivi, è assolutamente necessaria al fisico; si capisce anche che è in questa attitudine, portata ad un grado più o meno eminente, che consiste il vero genio della fisica.

Comunque sia, osserviamo che, la legge generale di una classe di fenomeni essendo nota, l'espressione di questa legge diventa ciò che dicesi la causa fisica dei fenomeni particolari che essa abbraccia. Spiegare uno qualunque di essi vale il mostrare che esso è contenuto nell'enunciato della legge.

Così per esempio, provato che i volumi di una data massa di gas sottoposta a diverse pressioni variano in ragione inversa di queste pressioni, si arriva a spiegare una quantità di fatti nei quali interviene l'azione di un gas i di cui volumi e le pressioni variano simultaneamente.

Allorquando la legge dei fenomeni è suscettibile di una espressione algebrica, il calcolo interviene come un istrumento prezioso a far conoscere tutte le conseguenze. La verificazione sperimentale di queste conseguenze è conferma della legge stessa. Sotto questo punto di vista i metodi matematici sono un potente ausiliario della fisica.

4. Teoria fisica. — L'enunciato di ciascuna legge fisica, lo sviluppo razionale delle conseguenze che ne derivano, costiuiscono una teoria fisica parziale. L' assieme delle leggi che si riferiscono ad una medesima classe di fenomeni costituisce una teoria fisica più generale;

ma si capisce come queste diverse leggi possano non esser altro che semplici corollari di una legge unica.

La scoperta di questa legge unica, quando esiste, costituisce un importante progresso della fisica. È così che Newton ha riunito nella legge unica della gravitazione tutti i movimenti del nostro sistema planetario e quelli dei corpi cadenti sulla terra.

Così pure le diverse teorie parziali dell' ottica sono tutte conseguenze rigorose delle proprietà attribuite ad un fluido detto *etere* che si suppone riempia lo spazio e le di cui vibrazioni servono di intermediario alla propagazione della luce e del calore.

Questo lavoro sintetico è però ancora poco avanzato, sebbene questi ultimi anni sieno segnalati da sforzi assai efficaci in tal senso; tal lavoro si deve considerare come il vero obbiettivo della fisica generale, e questa sarà arrivata alla perfezione quando si potrà rigorosamente dimostrare che tutti i distinti agenti fisici, ammessi fino al presente, non sono che la trasformazione di un solo agente primordiale.

5. Divisione della fisica generale. — La fisica generale comprende lo assieme di tutti i fenomeni del mondo esterno, l' accumulazione però delle conoscenze acquistate sulle diverse parti di questo vasto assieme ne ha resa necessaria la divisione in diversi rami che oggigiorno costituiscono altrettante scienze distinte.

La storia naturale riunisce tutto quanto si riferisce ai differenti esseri, organizzati o no, che si incontrano alla superficie del globo; essa stessa si suddivide in diversi rami:

La *zoologia* si occupa dell'organizzazione e dei costumi degli animali, della loro classificazione metodica e di tutti i fenomeni che hanno relazione al loro sviluppo ed alla loro riproduzione.

La *botanica* studia le stesse quistioni rispetto ai vegetali.

La *Mineralogia* ha per oggetto la descrizione e la classificazione metodica dei corpi inorganici (minerali) offerti dalla natura, la conoscenza de' caratteri specifici che servono a distinguerli gli uni dagli altri, l'enumerazione delle loro principali proprietà le applicazioni diverse che se ne possono fare.

La *geologia* è la storia della terra; essa racconta le diverse rivoluzioni che ne hanno modificata la superficie e l'hanno condotta alla configurazione attuale; tratta della disposizione e della natura delle roccie che entrano nella sua costituzione, fa la descrizione degli animali e dei vegetali antichi, i di cui avanzi fossili esistono ancora, e dei quali molti appartengono a tipi scomparsi. E fondamento dell'arte dell'ingegnere delle miniere e permette a questo di cercare, in modo metodico, nelle viscere del suolo le diverse sostanze, combustibili o metalli, che noi utilizziamo pei nostri diversi bisogni.

L' *astronomia* si occupa delle leggi del movimento degli astri;

mercè il perfezionamento degli istrumenti di misurazione, il progresso delle scienze matematiche e la scoperta della gravitazione universale, l' astronomia è arrivata ad un grado tale di perfezione, da potersi collocare nel numero delle scienze esatte.

Fatta esclusione della storia naturale e dell'astronomia, occorre ancora di distinguere la *fisica* dalla *chimica*. Quest'ultima scienza infatti ha per oggetto lo studio speciale dei fenomeni nei quali i corpi vengono profondamente alterati nella loro natura intima, in cui la materia sembra distruggersi, od almeno metamorfosarsi. Si prenda un pezzetto di solfo, lo si scaldi; fonderà; lo si strofini colla lana, diverrà suscettibile di attirare dei corpuscoli leggeri e presenterà le diverse proprietà curiose dei corpi elettrizzati; ma lo solfo non avrà perduto la sua individualità e quando le diverse influenze alle quali l'abbiamo supposto sottomesso cesseranno di agire, esso possiederà tutti i caratteri primitivi.. Lo solfo in queste circostanze ha presentato dei fenomeni fisici. Al contrario si ponga questo stesso corpo sul fuoco, lo si vedrà *bruciare* con fiamma azzurra; dopo qualche tempo sarà intieramente scomparso o, per meglio dire, si sarà trasformato in una sostanza gaseiforme che si sarà dispersa insieme cogli altri prodotti della combustione. In questo caso lo solfo propriamente detto ha cessato d'esistere, è accaduto un fenomeno chimico.

Si può dunque definire la fisica propriamente detta come quella che studia i fenomeni che non inducono alcun cambiamento essenziale e permanente nella natura intima dei corpi. È di questa scienza particolare che si parlerà in questo trattato.

Si osservi ciò non pertanto che spesso i due ordini di fenomeni sono prodotti dalle stesse cause, spesso pure sono la conseguenza l'uno dall'altro.

Scaldando per esempio un corpo lo si rende più atto a provare delle trasformazioni chimiche; reciprocamentente la conseguenza di certe trasformazioni è sovente la produzione di una grande quantità di calore. La fisica e la chimica, sebbene seguano scopi distinti, devono prestarsi mutuo appoggio. Non si potrebbero avere, per esempio, che delle idee incomplete sulle proprietà elettriche, se non si avesse conoscenza dei curiosi e spesso utili fenomeni chimici che l'elettricità può produrre.

Una simile osservazione si applica del resto a tutti i rami della fisica generale. Come separare per esempio la mineralogia dalla chimica, mentre spesso l'unico mezzo di riconoscere un minerale è di farne l'analisi chimica? D'altra parte le sostanze che il chimico produce nel suo laboratorio non devono forse, onde esser ben specificate, studiarsi anche dal punto di vista dei caratteri esterni, della forma cristallina, per esempio, carattere che è più propriamente nel dominio della mineralogia?

È forse possibile di stabilire una separazione netta tra la zoologia e la botanica da una parte e la chimica dall'altra?

Non accadono nei tessuti degli esseri organizzati diverse reazioni chimiche, le quali sono un'appendice necessaria dei fenomeni vitali? Gli agenti fisici non producono da parte loro dei fenomeni assai complessi e di tal natura da imbarazzare affatto il fisiologo od il medico, se esso non ha per guida la conoscenza delle leggi che reggono l'azione di questi agenti sui corpi inorganici?

Finalmente l'astronomia, la quale sembra formare una scienza ben distinta, ridotta allo studio geometrico o meccanico dei movimenti celesti, non deve essa pure riccorrere a tutte le risorse della fisica, se vuol arrivare a qualche congettura razionale sulla costituzione dei corpi stessi?

Si può dunque dire che tutte le parti della fisica generale si compenetrano, per così dire, mutuamente; esse formano un tutto giustamente detto filosofia naturale. Se questa la si è divisa, fu solo per facilitarne lo studio, giacchè l' intelligenza anche la più vasta e la più attiva sarebbe insufficiente a seguire lo sviluppo de' suoi diversi rami.

CAPITOLO II.

COSTITUZIONE DEI CORPI. — PROPRIETÀ GENERALI.

6. Diversi stati della materia. — Oggetto della fisica essendo lo studio delle proprietà generali dei corpi, è necessario di formarsi una chiara idea della loro costituzione. Si osservi innanzi tutto come essi si possono presentare sotto tre stati differenti: lo stato solido, lo stato liquido e lo stato gasoso. Lo stato solido è caratterizzato dalla tendenza a mantenere invariabile il volume e la forma, i quali non possono cangiare che sotto l' azione di uno sforzo più o meno considerevole. I solidi formano per conseguenza un tutto di cui le diverse parti hanno una mutua solidarietà, tanto che, per esempio, il movimento di una di esse, determina quello delle altre.

I liquidi al contrario sembrano formati da particelle indipendenti le une dalle altre, che possono obbedire individualmente all'azione delle forze che le sollecitano, e scorrere con grande facilità le une sulle altre. Da questa particolarità deriva la denominazione di *fluidi*, sotto la quale i liquidi vengono spesso designati, (*fluere* scorrere). È pure in causa di questa particolarità che le particelle prendono le diverse posizioni dipendenti dalla

forma dei vasi nei quali si pongono i liquidi stessi. Questi si modellano esattamente sulle pareti così che si può dire che essi non hanno altra forma che quella dei vasi che li contengono. La liquidità consistendo essenzialmente nella perfetta mobilità delle parti costituenti il corpo, si può riscontrare a diversi gradi di perfezione. Così l'etere solforico, l'alcool sono liquidi più mobili dell'acqua, l'acqua stessa è più mobile dell'olio, ecc. Si designa sotto il nome di *viscosità* il difetto d'indipendenza tra le particelle liquide, difetto che stabilisce degli stati intermediari tra i liquidi ed i solidi; si può dire che vi è un passaggio insensibile dai liquidi più o meno perfetti ai liquidi vischiosi, da questi ai corpi molli e da questi ultimi ai corpi solidi.

I gas, di cui l'aria atmosferica ci offre un esempio, sono costituiti, come i liquidi, da particelle indipendenti. Ma v'ha di più; queste particelle sembrano in uno stato di continua ripulsione, cosicchè una massa gasosa tende continuamente ad espandersi e ad assumere un volume sempre maggiore. Questo fenomeno vien detto *espansibilità* dei gas e per dimostrarlo si ricorre ordinariamente alla seguente esperienza (fig. 1)

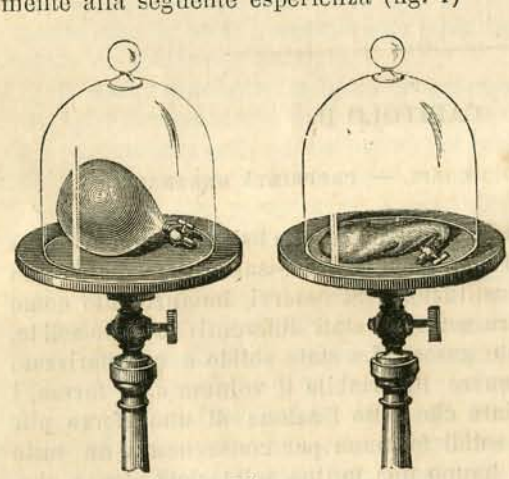


Fig. 1.

Si pone sotto il recipiente di una macchina pneumatica una vescica sgonfia e chiusa. In questo stato di cose l'aria che essa contiene e l'aria esterna agiscono in senso opposto, in causa della propria espansibilità, e si fanno quindi mutuamente equilibrio. Ma se si fa agire la macchina, la quale ha per effetto di togliere una parte dell'aria dalla campana, la forza espansiva dell'aria chiusa nella vescica non essendo più controbilanciata allo stesso grado dalla forza espansiva dell'aria circostante, la vescica si gonfia poco a poco e rende così manifesta la tendenza del gas in essa racchiuso ad occupare un volume sempre più grande.

Segue da ciò che per quanto un vaso sia grande, può sempre esser riempito da una quantità qualunque di gas, e questo eserciterà, in ogni caso, una pressione sulle pareti del vaso. Questa

pressione, conseguenza dell' espansibilità stessa, ha fatto dare ai gas il nome di *fluidi elastici*, sotto il quale vengono spesso designati.

È importante di osservare che la stessa sostanza può, secondo le temperature, presentarsi sotto i tre stati fisici; così accade per esempio dell'acqua: sotto l' azione del freddo dell' inverno, si fa solida: è il ghiaccio; alla temperatura ordinaria se ne trova sempre sparsa nell' atmosfera allo stato di gas: è il vapor d' acqua. Se le condizioni termiche del globo terrestre avessero a cangiare notevolmente in un senso o nell'altro, qualcheduna delle sostanze che noi vediamo abitualmente, per esempio, allo stato liquido, sarebbero o solide o allo stato di vapore. Così un freddo rigoroso renderebbe solida la totalità dell' acqua che esiste alla superficie del globo; una temperatura elevata ne produrebbe la completa vaporizzazione.

7. Costituzione molecolare. — Qualunque sia lo stato fisico di un corpo si ammette ch'esso non è formato da materia continua, ma bensì dall'aggregato di parti distinte staccate le une dalle altre. Queste parti od elementi costitutivi dei corpi diconsi particelle o molecole e si devono considerare come sottoposte ad azioni mutue, attrattive le une, ripulsive le altre: queste azioni nei solidi e nei liquidi si fanno equilibrio; nei gas invece tra i diversi elementi è manifesta una forza ripulsiva permanente, causa della espansibilità o forza elastica.

Lo stato delle molecole nei solidi e nei liquidi non è però lo stesso; in questi ultimi le particelle possono girare sopra sè stesse senza alterare il reciproco stato d' equilibrio; in altri termini lo stato liquido dipende dalle distanze molecolari e non dalla forma o dalla disposizione reciproca delle molecole. Si può formarsi un'idea approssimativa ed abbastanza giusta della costituzione fisica dei liquidi, ammettendo che le molecole di un liquido abbiano la forma sferica; risulta allora evidente che l'equilibrio molecolare dipende unicamente dalla distanza tra i centri delle sfere.

I solidi invece sono caratterizzati dall' influenza della forma e della disposizione reciproca degli elementi. Secondo l'idea di qualche antico filosofo, i solidi sarebbero formati da parti adunche intralciantesi le une nelle altre in modo da dare all'insieme una figura determinata. Non è del resto necessario di ricorrere a quest'imagine, un po' grossolana, per formarsi un concetto della solidità, basta figurarsi solamente che, allorquando si esercita uno sforzo sopra una parte di un corpo solido, le particelle girano sopra sè stesse: s'orientano in differente modo così d'arrivare ad una nuova posizione d' equilibrio. Da ciò deriva l' invariabilità di forma che caratterizza lo stato solido. In effetto però questa invariabilità non

esiste, e, per quanto sia piccola la forza esercitantesi su di un corpo solido, questo subisce un cambiamento di forma; spesso però questo cambiamento non è apprezzabile che allorquando la forza è molto intensa.

8. Impenetrabilità. — L'impenetrabilità è la proprietà che possiede un corpo di non poter occupare nello stesso tempo lo spazio occupato da un altro corpo. Ciononostante si presentano dei casi di apparente penetrazione. Così il volume della lega di più metalli può essere minore della somma di volumi dei metalli allegati. Se, per esempio, in un tubo lungo e stretto e chiuso ad un estremo, si versa dapprima dell'acqua; poi con precauzione dell' alcool fino a riempire il tubo, se si chiude in seguito la bocca di questo col dito, e lo si capovolge a più riprese onde promuovere il mescolamento dei liquidi, si osserva una diminuzione assai sensibile di volume. Vi fu dunque penetrazione. Ma questa penetrazione non è che apparente; il fenomeno non dipende dal fatto che le parti materiali che compongono i corpi si siano compenetrate; siccome tra queste parti vi sono degli spazii vuoti così la penetrabilità dei corpi si può conciliare coll'impenetrabilità dei loro elementi (1).

9. Porosità — Permeabilità. — La porosità è una conseguenza immediata dell'ipotesi fatta sulla costituzione dei corpi e consiste nella proprietà generale di questi di presentare degl'intervalli vuoti fra le molecole materiali, detti pori.

La porosità costituisce qualche volta un carattere assai sensibile e permette, per esempio, il passaggio di liquidi o di gas attraverso ai solidi: prende allora il nome di *permeabilità*. I filtri danno esempio di un' applicazione della permeabilità; i pori sono abbastanza grandi da lasciar passare l'acqua ma abbastanza stretti per fermare i piccoli granelli solidi tenuti in sospensione nell'acqua stessa. È pure per la permeabilità che negli esseri organizzati viventi accade la comunicazione fra i liquidi che devono agire gli uni sugli altri, infatti i vasi che contengono quei liquidi non sono aperti in alcuna parte ed è appunto attraverso alle loro pareti che avvengono gli scambi degli elementi necessari all'azione vitale.

Esercitando pressioni considerevoli si possono far passare i liquidi attraverso ai metalli. Qualche metallo come per es.: il platino, il ferro, portati ad elevata temperatura lasciano facile passaggio a diversi gas: è per questo motivo che le stufe di ghisa, quando vengano arroventate, lasciano passare qualcuno dei pro-

(1) Fatta distinzione fra i vocaboli *materia* e *corpo* e riferita la *impenetrabilità* alla *materia*, non si avrebbe più da far quistioni di apparenti penetrazioni; queste penetrazioni, nei corpi, sono una naturale conseguenza della loro costituzione stessa (9).

NOTA DEL TRADUTTORE

dotti insalubri della combustione, e danno così luogo ad inconvenienti più o meno gravi.

10. Divisibilità. — È la proprietà generale dei corpi di lasciarsi separare in un gran numero di parti. Si hanno esempi di divisibilità assai noti: i metalli, per esempio, possono essere ridotti in fili ed in lamine assai sottili.

Wollaston è riuscito ad ottenere dei fili di platino il cui diametro non è superiore ad $^1/_{1200}$ di millimetro. Il processo impiegato per ottenerli consiste nel far passare alla filiera un filo d'argento nel di cui asse si trova un filo di platino ed a sciogliere in seguito lo strato d'argento nell'acido azotico. Con questo processo si possono ottenere dei fili talmente sottili da riescire invisibili ad occhio nudo. Coll'arte del battiloro si ottengono delle foglie il di cui spessore non sorpassa $^1/_{10000}$ di millimetro: una di queste foglie, avente un decimetro quadrato di superficie, non arriva al peso di due centigrammi. La diffusione delle sostanze coloranti mostra una bella prova della divisibilità della materia: 1 millimetro cubo d'indaco sciolto nell'acido solforico, può colorare in modo sensibile più di 10 litri d'acqua; un litro contenendo un milione di millimetri cubi, volume ben percettibile, il millimetro cubo d' indaco sarebbe dunque stato diviso in questa esperienza almeno in dieci milioni di parti *visibili*.

11. Atomi, molecole. — Si ammettono i corpi come costituiti da parti materiali *indivisibili*, senza confronto più piccole delle minime particelle che si possono sorprendere col senso più delicato aiutato dall'istrumento il più perfetto. Le parti indivisibili dei corpi semplici hanno ricevuto il nome di *atomi*.

Gli atomi dei corpi semplici costituiscono colle loro combinazioni le *molecole* dei corpi composti. I processi chimici sono i soli capaci di separare la molecola ne' suoi elementi.

Le dimensioni degli atomi e delle molecole devono essere eccessivamente piccole, giacchè sono impercettibili per qualunque sostanza conosciuta. Gli animali microscopici, i di cui organi sono costituiti da un gran numero di molecole, possono fornirci un'idea della piccolezza di queste. Non si perverrà forse a conoscere le vere dimensioni degli atomi; la chimica è condotta dai fatti ad ammettere l'esistenza di rapporti invariabili tra i pesi degli atomi delle differenti sostanze, anzi per molti di questi rapporti si è determinato il valor numerico.

12. Compressibilità. — Questa proprietà generale consiste nella diminuzione di volume provata dai corpi sotto l'azione di una pressione esterna. La compressibilità dei solidi è assai debole; essi esigono una pressione assai considerevole per dare una sensibile diminuzione di volume. Per quanto essi siano poco compressibili,

bisogna tener calcolo della loro compressibilità in diverse circostanze, ad esempio, nella costruzione degli edifici.

La compressibilità dei liquidi è più grande di quella dei solidi, ma però ancora assai debole. Col mezzo di apparecchi molto sensibili si potè non solo constatare la compressibilità dei liquidi, ma anche misurarla. Dalle esperienze fatte in proposito risulta che la compressibilità dell'acqua è di 0,000048 del proprio volume per una pressione di 1 chilogrammo per centimetro quadrato di superficie premuta. La compressibilità dell'acqua diminuisce coll'aumentare della temperatura. L'alcool e l'etere sono un po' più compressibili dell'acqua; la loro compressibilità aumenta invece colla temperatura. Il mercurio è assai meno compressibile, circa 16 volte meno, dell'acqua: nelle usuali esperienze si possono dunque trascurare affatto le variazioni del suo volume in causa di compressioni.

Fig. 2.

I gas sono senza confronto più compressibili dei solidi e dei liquidi; serve a dimostrare questo fatto l'apparecchio detto acciarino pneumatico (fig. 2). Consiste questo in un cilindro di vetro a pareti spesse e chiuso ad una delle sue estremità; in esso può scorrere uno stantuffo a tenuta d'aria; basta spingere lo stantuffo con una certa forza per ridurre il gas alla metà, al terzo, al decimo del suo volume primitivo.

Da ciò si deve concludere che nei gas le particelle sono senza confronto più lontane fra di loro che nei solidi e nei liquidi e, per conseguenza, che essi, sotto lo stesso volume, presentano minore quantità di materia. Per dare un'idea di questa differenza basti il dire che un centimetro cubico di acqua ridotto in vapore alla temperatura di 100 gradi occupa, sotto questo nuovo stato, un volume di 1700 centimetri cubici.

13. Elasticità. — La costituzione molecolare dei corpi conduce alla nozione detta elasticità. Dai fatti precedenti risulta infatti che se delle forze agiscono esteriormente su di un corpo, le molecole di questo si avvicinano o si allontanano le une dalle altre, finchè un nuovo stato d'equilibrio siasi stabilito tra le forze esterne e le forze molecolari. Se allora le prime cessano d'agire, può darsi che le molecole riprendano esattamente le loro primitive posizioni, dopo avere oscillato intorno alle posizioni stesse. Si dà a questo fatto il nome di *elasticità*. Sotto questo rispetto si osservano delle grandissime differenze tra i corpi solidi; gli uni, come il caoutchouc, possono subire delle grandi deformazioni e riprendere ciononostante il loro primitivo

stato; mentre altri, come la cera molle, l'argilla plastica, conservano successivamente le diverse forme impresse. Si dice che nei primi il *limite dell'elasticità* è assai grande, nei secondi, assai debole. Si usa pure di dire che le sostanze che si comportano come il caoutchouc sono molto elastiche, mentre le altre lo sono poco. Però queste espressioni non sono precise e possono dar luogo ad equivoci: si può dire infatti che un corpo è molto elastico quando sotto una data azione esterna esso sviluppa una grande reazione molecolare, circostanza questa che non suppone di necessità che il limite di elasticità sia grande. Sotto questo punto di vista i corpi analoghi al caoutchouc sono da classificarsi come poco elastici.

Nei liquidi e nei gas non vi ha limite d'elasticità. Difatti, la forma e la disposizione delle molecole non avendo nessuna influenza sull'equilibrio, questo non dipende che dall'intervallo che le separa. Ne risulta che queste molecole ripiglieranno la primitiva distanza quando le forze esterne ripiglieranno esse stesse il primitivo valore. Ne segue che, per qualsiasi pressione subita, un liquido od un gas riprendono il primitivo volume quando la forza premente cessa d'agire.

Le applicazioni dell'elasticità dei solidi sono numerose ed importanti. È alla sua elasticità che il caoutchouc deve il suo uso in moltissime circostanze. L'acciaio più o meno temperato è una fra le sostanze più elastiche: è coll'acciaio che si fanno tutte le molle; queste sono impiegate come motori negli orologi, appunto per la facoltà di riprendere la primitiva forma dopo che vennero caricate. Esse sono pure di un uso continuo nelle macchine, per mantenere e ricondurre in posizioni invariabili certi pezzi che non devono spostarsi che di assai poco, come, per esempio, le valvole, le armature delle elettro-calamite, ecc. Nelle vetture sospese, il corpo della vettura è portato da molle costituite da lamine d'acciaio riunite, le di cui lunghezze vanno successivamente decrescendo, dimodochè la parte di mezzo, dove si esercita lo sforzo principale del peso, ha uno spessore sufficiente a resistervi mentre le estremità hanno la flessibilità necessaria per attenuare la violenza degli urti sull'assale.

14. Inerzia. — L'inerzia della materia costituisce il principio fondamentale della fisica. L'inerzia non consiste però nell'inattività delle particelle materiali e neppure nella impossibilità di modificare il loro stato di moto o di riposo agendo le une sulle altre; basta infatti gettare un colpo d'occhio sui fenomeni della natura per accorgersi come il riposo non esista e come il moto si modifichi, si alteri in mille modi. Il principio dell'inerzia è un principio astratto riferentesi ad un punto materiale isolato. Questo principio si può enunciare nel modo seguente:

Un punto materiale isolato non può modificare il suo stato di riposo o di movimento; di modo che, se è in riposo, vi rimarrà indefinitamente; se è in movimento, continuerà indefinitamente a muoversi nella stessa direzione e colla stessa velocità.

Se dunque vedesi entrare in movimento un corpo in riposo o si osserva una modificazione nel suo stato di movimento, dicesi che vi è stato intervento di una *forza*.

15. Forza. — Senza preoccuparci qui della questione, d'altronde molto oscura, della natura intima delle forze, senza cercare se esse formino parte integrale dei corpi o se hanno un'esistenza distinta, non esaminandole che negli effetti da esse prodotti, si possono definire nel seguente modo:

Dicesi forza una qualunque causa che tende a muovere un punto materiale secondo una certa direzione e con una certa velocità.

16. Manifestazioni dell'inerzia. — Come venne enunciato, il principio dell'inerzia non può essere sottoposto ad una verificazione sperimentale, giacchè è impossibile di osservare un punto materiale, che è un'astrazione, e tanto meno un punto materiale isolato.

Il principio dell'inerzia è un principio sintetico ed astratto che si è presentato alla mente dei fondatori della meccanica, ed a Newton in particolare, come la chiave, la ragione d'essere dei caratteri multipli e complessi dei fenomeni esterni. Ma se è impossibile di verificare il principio dell'inerzia, è invece assai facile il mostrarne l'influenza sui fenomeni esterni, questa influenza riducendosi in fatto alla tendenza manifestata dai corpi a perseverare nel loro stato di riposo o di movimento.

La tendenza a rimanere in riposo si rende manifesta anche all'osservazione la più superficiale; in quanto alla tendenza a continuare nel moto, si può formarsene un'idea netta collo studio attento dei fatti. Se, per esempio, si fa oscillare un pendolo, l'ampiezza delle oscillazioni decresce mano mano e finisce, dopo un tempo più o meno lungo, per divenir nulla. Ciò deriva dal fatto che il pendolo prova per parte dell'aria una resistenza dovuta allo spostamento successivo delle particelle di questo fluido; di più, l'asse di sospensione sfrega sui suoi appoggi; questa doppia circostanza ha per effetto di diminuire la velocità dell'apparecchio fino ad annientarla. Si attenuino gli attriti, si faccia oscillare l'apparecchio nel vuoto e la durata del movimento ne verrà notevolmente accresciuta.

Per analogia si arriva alla concezione che, se fosse possibile di togliere completamente le due cause di distruzione della velocità del pendolo, questo conserverebbe indefinitamente il proprio moto.

Devonsi appunto alla tendenza a persistere nel movimento gli effetti che si producono quando una vettura od un convoglio fer-

roviario vengono bruscamente fermati: i viaggiatori sono, per così dire, projettati nel senso del movimento, in causa della velocità posseduta al momento della fermata. Si imagini un freno abbastanza potente da fermare all'atto un convoglio in corsa; gli effetti prodotti da un così subitaneo arrestarsi sarebbero identici a quelli derivanti dall'urto con un altro convoglio, dello stesso peso ed animato della medesima velocità, il quale si movesse incontro al primo.

È pure all'inerzia che devonsi attribuire le cadute, causa spesso di gravi incidenti, in conseguenza del discendere senza precauzione da una vettura od, a maggior ragione, da un convoglio in moto. Infatti tutti i punti del corpo essendo animati da un certo movimento e solamente i piedi venendo ad essere fermati, le parti superiori del corpo continuano nel moto e vengono così lanciate contro il suolo con una velocità più o meno considerevole.

Quando per immanicare un martello se ne batte l'estremità del manico contro il suolo, si utilizza ancora l'inerzia. Infatti, al momento dell'urto e del conseguente arrestarsi, la testa del martello continua a muoversi e finisce, dopo qualche colpo, per immanicarsi completamente (1).

17. Mobilità. — La mobilità è la proprietà dei corpi di poter passare successivamente dal riposo al moto e dal moto al riposo. Il moto poi è lo stato di un corpo che occupa successivamente diverse posizioni nello spazio. Una pietra che rotola, un uomo che cammina su di una strada, sono esempi di corpi in movimento.

Non ci è dato di constatare i cangiamenti di posizione di un corpo che mediante il confronto con punti di riscontro. Sono, per esempio, le sinuosità della strada o gli alberi che la fiancheggiano che permettono di studiare il movimento di un viaggiatore.

Qualche volta il nostro corpo stesso serve di termine di confronto per riconoscere lo stato di movimento dei corpi che ci circondano.

18. Moto relativo. — Un corpo in moto può sembrar fermo quando si manchi di termine di confronto. Così, per esempio, trovandosi in un salone di un battello a vapore in cammino su di un fiume, in condizioni tali che non si possano vedere gli oggetti esterni, tutto quanto sta intorno sembra immobile. Questa idea di immobilità si fissa di così fatta maniera nella mente che, rimontando sul ponte, la prima impressione tenderebbe a far credere che le rive del fiume sieno in movimento; occorre un certo qual sforzo per

(1) I martelli, i magli, le berte, le pile e simili istrumenti ad urto, sono pure applicazioni dell'inerzia; così dicasi dei volanti montati sugli alberi motori delle macchine.

NOTA DEL TRADUTTORE.

ricondursi all'idea della immobilità delle rive e della mobilità del bastimento.

Quando i termini di confronto dai quali si giudica il moto di un corpo, sono pur essi in movimento, il moto dicesi *relativo*. Tale è il moto di un corpo sul ponte di un bastimento in cammino. Se si riferisse il moto di questo corpo alla posizione di un osservatore immobile sulla riva, questi lo giudicherebbe assai diversamente. Potrebbe accadere che esso giudicasse il corpo in quiete. Se infatti il corpo si spostasse dalla parte anteriore alla posteriore del bastimento e con velocità uguale a quella del bastimento stesso, rimarrebbe sempre di contro allo stesso punto della riva e le cose si passerebbero, per l'osservatore, come se il battello scivolasse sotto al corpo senza trascinarlo nel suo movimento.

Qualunque moto relativo può essere considerato in due modi: o come moto del primo in un certo senso, o come moto del secondo in senso opposto. Così il moto diurno è un movimento relativo del cielo e della terra. Evidentemente questo fenomeno può venir considerato in due modi: o la terra è fissa e la sfera celeste gira da oriente ad occidente; od il cielo è fisso ed il globo gira in senso opposto al citato. Come è noto, tutto prova che è il globo terrestre quello animato di movimento di rotazione.

Sulla terra dunque non vi può essere quiete assoluta. Tutti i corpi che si trovano alla sua superficie sono animati da un movimento di rotazione intorno alla retta passante pei poli e questo movimento si combina con un altro assai più rapido, quello cioè di traslazione intorno al sole. Il sole stesso non è immobile; esso è trasportato nello spazio, insieme al suo corteo di pianeti e rispettivi satelliti, con una velocità considerevole. Tutte le speci di movimento di cui si dovrà studiare, non sono che relativi; ma le conclusioni a cui si giungerà sono le stesse come se essi fossero assoluti.

CAPITOLO III.

SUL MOTO IN GENERALE.

19. Meccanica. — I diversi fenomeni fisici si riducono essenzialmente a movimenti; ma a questi movimenti corrispondono spesso manifestazioni speciali di interesse particolare. Così quando si scalda un corpo solido e lo si fonde, è certo che lo stato liquido è il risultato di uno spostamento particolare, forse anche di un cambiamento di forma delle molecole, vale a dire, da circostanze le quali si ri-

ducono a movimenti; ma il corpo liquido così formatosi ha acquistato delle proprietà particolari, e sono appunto queste proprietà quelle che interessano in ispecial modo il fisico.

Ciò nonostante si capisce come i movimenti possano venir considerati per sè stessi, in modo geometrico ed in rapporto alle forze che li producono; è questo l'oggetto di una scienza speciale, la *meccanica*, la quale va considerata come un preliminare indispensabile della fisica. Ci limiteremo a dare l'enunciato di alcune proposizioni fondamentali, corredandole di spiegazioni proprie a facilitarne l' intelligenza.

20. Movimento rettilineo e curvilineo di un punto. — Quando si parla del moto di un corpo, generalmente si fa astrazione dalle sue dimensioni e non si considera che uno de' suoi punti, nel quale si immagina condensata tutta la materia. Così, quando dicesi che la terra descrive un'elisse intorno al sole, si considera la sua materia come condensata nel suo centro.

Dicesi *trajettoria* di un punto materiale *il luogo geometrico delle posizioni occupate successivamente da questo punto.* Il moto di un corpo dicesi rettilineo o curvilineo a seconda che la sua trajettoria è una linea retta od una linea curva. Il moto è determinato quando si conosca la posizione e la forma della trajettoria e si conosca in qual tempo le diverse parti di questa sono percorse.

Lo spazio ed il tempo sono gli elementi matematici del moto. La geometria insegna a misurare lo spazio: quanto alla durata di un fenomeno, la si valuta comparandola a quella di un altro fenomeno le di cui condizioni sieno invariabili. L'unità principale per la misura del tempo è il giorno. Il giorno venne diviso in 24 parti uguali dette ore, ciascuna ora si suddivide in 60 minuti primi e ciascun minuto primo in 60 minuti secondi. Gli orologi hanno per iscopo di indicare ad un dato momento il numero di ore o le parti d'ora scorse dal principio della giornata.

21. Moto uniforme. — Dicesi *moto uniforme* quello in cui *il mobile percorre spazj uguali in intervalli di tempo uguali qualsiansi*; ciò dovendo aver luogo anche per intervalli di tempo piccolissimi. L'indice, per esempio, di un orologio a secondi non si muove di moto uniforme, quantunque percorra spazj uguali nei successivi minuti secondi. Infatti lo si vede percorrere assai rapidamente una divisione, fermarsi un momento, percorrere la divisione seguente, fermarsi da capo e così di seguito.

Due mobili in moto uniforme non percorrono generalmente uguali spazj nell'ugual tempo. La rapidità più o meno grande di un moto uniforme si misura collo spazio percorso nell'unità di tempo; questo spazio è ciò che dicesi *velocità* del moto stesso. La stessa velocità può essere espressa da numeri diversi a seconda delle unità di

spazio e di tempo adoperate. Per esempio, vale lo stesso il dire che un convoglio ferroviario si muove colla velocità di 10 metri al secondo o di 36 chilometri all'ora.

22. Velocità media. — Raramente un moto è rigorosamente uniforme; spesso, ciò non ostante, è comodo di sostituire ad un moto che non differisce troppo dall'uniforme, un immaginario moto uniforme di egual durata. La velocità di questo dà la *velocità media* del moto osservato.

Si supponga, per esempio, che un convoglio abbia percorso 144 chilometri in 4 ore. Il suo moto certamente non sarà stato uniforme; ma dividendo 144000 metri per 14400, numero di secondi contenuti in 4 ore, si avrà la velocità che dovrebbe possedere un mobile per percorrere di moto uniforme 144 chilometri in 4 ore. Si dice allora che il convoglio ha la velocità media di 10 metri al secondo o di 36 chilometri all'ora.

L'uomo camminando scarico su di un terreno orizzontale, possiede, in generale, la media velocità di $1^{m},50$ al secondo o di $5^{km},4$ all'ora. La maggior velocità dei convogli sulle vie ferrate è di 25 metri al secondo, ossia di 90 chilometri all'ora. La terra, nella sua orbita, possiede un velocità di $37^{km},705$ al secondo.

23. Moto vario. — Quando gli spazi percorsi da un mobile in tempi uguali non sono uguali fra loro, il moto dicesi vario. Ne danno esempio una pietra che cade, un convoglio che sta per fermarsi. Quando gli spazi percorsi successivamente in tempi uguali vanno crescendo, dicesi che il moto è accelerato; è ritardato nel caso contrario.

In un moto vario la velocità cambia ad ogni momento. Si supponga che ad un dato istante la variazione cessi ed il movimento diventi uniforme. La velocità di questo moto uniforme è ciò che dicesi *velocità del movimento vario in quell'istante.* Così, quando si è vicini ad una stazione ferroviaria, si scorge che la velocità del convoglio va diminuendo. Se la velocità era dapprincipio di 10 metri al secondo, essa andrà diminuendo fino a diventar nulla

Se ad un dato momento si dice che la velocità non è più che di 5 metri, ciò non vuol dire che il convoglio percorre 5 metri al secondo, ma solamente che, se a partire dal momento considerato, il moto divenisse uniforme, il convoglio percorrerebbe in effetto 5 metri al secondo. È un moto uniforme immaginario che si fa succedere al moto vario effettivo.

24. Moto uniformemente vario. — Quando la velocità di un moto cresce o diminuisce proporzionalmente al tempo, contato a partire dall'origine del movimento, si dice che questo moto è *uniformemente vario.*

Lo spazio percorso da un corpo animato di moto uniformemente

vario, varia evidentemente col tempo, e la legge di questa variazione è facile a trovarsi. Più innanzi si vedrà come un corpo che cade liberamente per l'azione della gravità, possiede un moto uniformemente accelerato, ed allora si avrà occasione di sviluppare le leggi di questa specie di movimento.

25. Elementi della forza. — Quando un corpo passa dal riposo al moto o reciprocamente, o quando lo stato di un corpo vien modificato, questa successione di fenomeni è, come si è già detto, il risultato di una causa estranea. Questa causa, qualunque essa sia, ha ricevuto il nome di forza. In una forza sono da considerarsi tre elementi; il punto del corpo sul quale essa agisce direttamente, vale a dire il suo *punto di applicazione;* la direzione secondo la quale essa tende a trascinare od a spingere il punto materiale, vale a dire *la direzione della forza*; infine la sua grandezza od *intensità.*

Si capisce facilmente come una forza possa agire con una certa intensità, differente da un caso all'altro. Questa intensità si renderà manifesta, per esempio, colla velocità più o meno grande, secondo i casi, indotta nel punto, alla maggior velocità corrispondendo la maggior forza.

Quando due forze applicate al medesimo punto in quiete, inducono in esso la stessa velocità, si può dire che sono uguali. La riunione di un certo numero di forze uguali dà luogo ad una *forza multipla;* da ciò si intende come le intensità delle forze possano venir comparate fra loro. Le forze possono venir rappresentate tanto per mezzo di numeri, come per mezzo di linee, prendendo per unità una certa forza, generalmente il chilogrammo. Si rappresenta ordinariamente la forza, per mezzo di una linea retta AB (fig. 3) che ne indica la direzione, A è il suo punto di appli-

Fig. 3.

cazione, la lunghezza AC rappresenta, per mezzo di una certa scala, la sua intensità.

L'elasticità delle molle fornisce un mezzo assai semplice di comparare le forze fra loro. La figura 4 rappresenta uno tra gli apparecchi destinati a questo scopo, detti *dinanometri.* È formato da due lamine di acciaio AB ed $A'B'$, articolate alle loro estremità a due bride metalliche che le riuniscono. Al mezzo della lamina superiore è applicato un anello che si può appendere ad un punto fisso; al punto corrispondente della lamina inferiore si trova un uncino al quale si possono appendere dei pesi od applicare le forze che si vogliono comparare. Sotto l'azione di queste

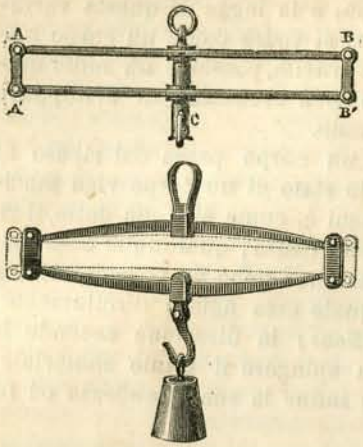


Fig. 4.

forze, le lamine del dinamometro si curvano, la distanza fra i punti di mezzo aumenta e questo aumento può servire di misura all'azione della forza stessa. Se si cerca il numero di chilogrammi necessario a produrre la stessa inflessione prodotta da una data forza, questo numero misurerà la grandezza della forza stessa, e si capisce così come le forze possano essere valutate in chilogrammi (1).

26. Risultante. — Quando un punto materiale od un sistema di punti è sollecitato da un certo numero di forze, si può trovare una forza unica, di grandezza determinata, la quale, applicata ad un punto conveniente, produca l'istesso effetto delle forze date; questa forza unica porta il nome di *risultante*. Le forze primitive diconsi *componenti*.

Un battello, per esempio, che scenda lungo un fiume e sia sottoposto all'azione delle ruote o del vento, in modo però che il suo movimento sia rettilineo, è in fatto sottoposto all'azione di molte forze agenti sui diversi punti; ciò non ostante è evidente che una forza di opportuna grandezza e posizione potrà produrre lo stesso effetto di tutte quelle forze.

Non sempre un sistema di forze può essere sostituito da una forza unica; quando però tale sostituzione è possibile, è assai importante di determinare la grandezza e la posizione della risultante, giacchè lo studio del moto del corpo ne riescirà di molto semplificato. Ecco un caso importante nel quale questa determinazione si ottiene facilmente.

27. Parallelogrammo delle forze. — *Se un punto materiale A è sottoposto all'azione di due forze, rappresentate in grandezza e direzione dalle A B ed A C, la loro risultante è rappresentata in grandezza e direzione dalla diagonale A D del parallelogrammo costruito sulle rette A B ed A C, che rappresentano le componenti* (fig. 5).

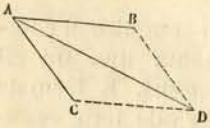


Fig. 5.

Si può sperimentalmente dimostrare l'esattezza di questa proposizione fondamentale

(1) Ordinariamente i dinamometri sono congegnati in modo che le molle, inflettendosi, agiscano, per mezzo di opportune disposizioni, a muovere un indice su di un quadrante graduato. NOTA DEL TRADUTTORE.

per mezzo del seguente apparecchio, dovuto a 'S Gravesende (figura 6).

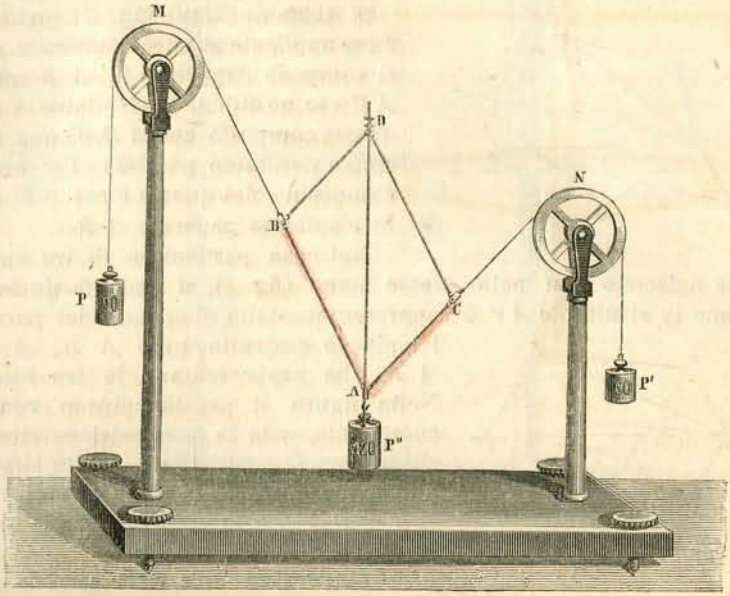


Fig. 6.

A B C D è un parallelogrammo articolato ai quattro vertici; ai punti *B* e *C* sono fissati dei cordoncini che passano sulle pulegge di rinvio *M* ed *N* e portano, all'estremo libero, dei pesi *P* e *P'* rispettivamente di 90 e di 60 grammi.

Le lunghezze dei lati *A B* ed *A C* sono esse stesse proporzionali ai numeri 90 e 60. Al vertice *A* si sospende un peso *P''* di 120 grammi; si osserva che, in queste condizioni, il parallelogrammo è in equilibrio. Si constata inoltre che i cordoncini fissi in *B* e *C* riescono disposti esattamente sul prolungamento dei lati *A B* ed *A C*, ed infine, che un asticina verticale fissata in *A*, concorda precisamente colla diagonale del parallelogrammo. Da tutto ciò segue, che le forze *P* e *P'* hanno una risultante verticale, diretta secondo la diagonale *A D*, eguale ed opposta alla forza *P''*. Ma quest'ultima misura 120 grammi e la diagonale *A D* la si trova appunto lunga 120 parti, misurandola colla stessa scala adoperata per stabilire le lunghezze delle *A B* ed *A C*; la risultante è dunque rappresentata, in tutti i suoi elementi, dalla diagonale del parallelogrammo costruito sulle rette che rappresentano le forze componenti.

28. Composizione delle forze. — Quando si sappia trovare la risultante di due forze, in altri termini, *comporre* due forze applicate ad uno stesso punto, si può facilmente comporne un numero qualunque.

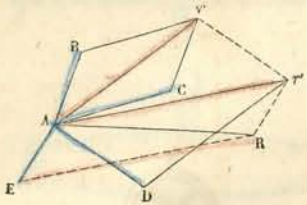


Fig. 7.

Si abbiano infatti (fig. 7) quattro forze applicate al punto materiale A: si compone dapprima la $A\ B$ colla $A\ C$ e se ne ottiene la risultante A r; questa composta con $A\ D$, dà una seconda risultante parziale $A\ r'$ che, composta colla quarta forza $A\ E$, dà la risultante generale $A\ R$.

Nel caso particolare di tre forze che agiscono non nello stesso piano (fig. 8), si vede facilmente come la risultante $A\ r'$ è rappresentata dalla diagonale del parallelepipedo costruito sulle $A\ B$, $A\ C$, $A\ D$, che rappresentano le tre forze. Nella figura il parallelepipedo venne completato, onde la composizione riesca chiara, ma la costruzione, affatto simile alla precedente, si riduce a comporre $A\ B$ con $A\ C$ e la loro risultante $A\ r$ con $A\ D$.

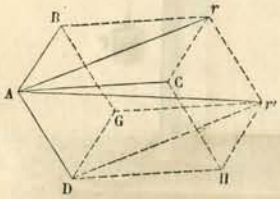


Fig. 8.

29. Composizione delle forze parallele. — *Quando due forze parallele F e F' sono applicate alle estremità di una retta, ammettono una risultante R uguale alla loro somma, a loro parallela ed il di cui punto di applicazione C divide la retta $A\ B$ in parti inversamente proporzionali alle forze stesse.*

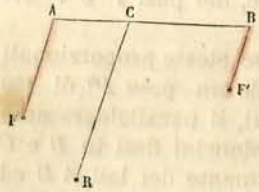


Fig. 9.

Se, per esempio, le due forze F ed F' sono uguali, il punto C sarà il punto di mezzo della $A\ B$; se la forza F è doppia della F', il segmento $C\ A$ dovrà essere metà di $C\ B$ (fig. 9).

Si può verificare la proposizione enunciata, per mezzo del seguente apparecchio, conosciuto col nome di *leva aritmetica* (fig. 10).

La leva $A\ B$ porta alle sue estremità due pesi P uguali, la leva stessa è sostenuta, pel suo punto di mezzo, da un cordone passante su di una puleggia di rinvio M e portante all'altro estremo un peso P'. Quando il peso P' abbia una grandezza conveniente, la leva si trova in equilibrio. Ne segue che i due pesi P ed il peso delle diverse parti della leva, che si possono immaginare distribuite due a due ad ugual distanza dal puuto di mezzo, hanno una risultante applicata in queste punto, eguale ed opposta alla forza P'.

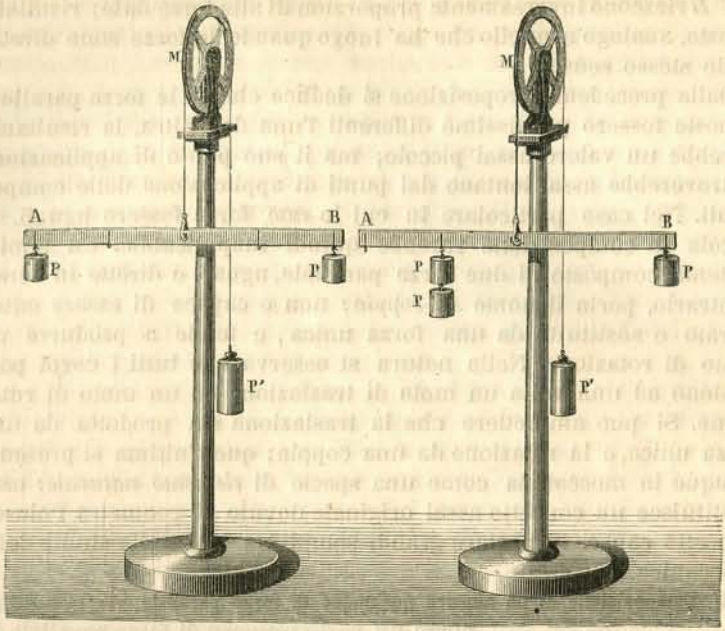


Fig. 10.

Si osserva inoltre che P' è uguale alla somma dei due pesi P e del peso della leva.

Nel caso della seconda figura, un peso unico P è collocato ad una delle estremità B, mentre al punto di mezzo C dell'altra metà della leva sono sospesi due pesi uguali a P. Si riscontra che anche, in questo caso, si ha equilibrio, quando il peso P' sia uguale alla somma dei tre pesi P e del peso della leva.

Per ben interpretare questo risultato si osservi che si può trascurare il peso della leva, essendo questa direttamente equilibrata da una parte del peso P'; rimangono dunque solamente due forze di cui l'una, quella a sinistra, è doppia dell'altra. Ora la risultante passa evidentemente pel punto di sospensione O, il quale si trova precisamente ad una distanza da B doppia di quella che lo separa dal punto C.

30. Quando le forze parallele F ed F' sono dirette in sensi contrari, (fig. 11) ammettono ancora una risultante parallela alle componenti, diretta nel senso della maggiore ed uguale alla loro differenza $F - F'$. Inoltre il suo punto di applicazione è posto in modo che le distanze CA

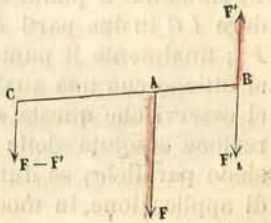


Fig. 11.

e $C\ B$ riescono inversamente proporzionali alle forze date; risultato questo, analogo a quello che ha luogo quando le forze sono dirette nello stesso senso.

Dalla precedente proposizione si deduce che, se le forze parallele opposte fossero pochissimo differenti l'una dall'altra, la risultante avrebbe un valore assai piccolo; ma il suo punto di applicazione si troverebbe assai lontano dai punti di applicazione delle componenti. Nel caso particolare in cui le due forze fossero uguali, la regola di composizione sarebbe quindi inapplicabile. Un simile sistema composto di due forze parallele, uguali e dirette in senso contrario, porta il nome di *coppia:* non è capace di essere equilibrato o sostituito da una forza unica, e tende a produrre un moto di rotazione. Nella natura si osserva che tutti i corpi possiedono ad una volta un moto di traslazione ed un moto di rotazione. Si può ammettere che la traslazione sia prodotta da una forza unica, e la rotazione da una coppia; quest'ultima si presenta dunque in meccanica come una specie di *elemento naturale:* essa costituisce un concetto assai originale dovuto al geometra Poinsot, concetto capace di portare grandi semplificazioni nello studio della meccanica.

31. Composizione di un numero qualunque di forze parallele. — Per comporre un certo numero di forze parallele F, F', F'', F''', si compone dapprima la prima colla seconda, e si ottiene così una prima risultante r; questa, composta colla terza forza F'', dà una seconda risultante r', che composta a sua volta con F''' dà la risultante generale R (fig 12). Questo processo è applicabile ad un numero qualunque di forze ed è facile capire che la risultante è, in ogni caso, uguale alla somma di tutte le forze. In quanto al punto di applicazione si osservi, che il punto di applicazione della prima risultante parziale si trova dividendo $A\ B$ in due parti $A\ I$ e $B\ I$, inversamente proporzionali ad F ed F'. Ugualmente il punto di applicazione K di r' si ottiene col dividere $I\ C$ in due parti $I\ K$ e $K\ C$ inversamente proporzionali ad r ed F''; finalmente il punto di applicazione L della risultante generale si ottiene con una analoga operazione eseguita sulla retta $K\ D$. Ora si osservi che questa serie di costruzioni è indipendente dalla direzione assoluta delle componenti e suppone solamente che esse sieno parallele; se dunque le forze ruotassero intorno ai loro punti di applicazione, in modo da mantenersi sempre parallele fra loro, la risultante passerebbe sempre pel punto L. In causa di tale proprietà questo punto venne detto *centro delle forze parallele.*

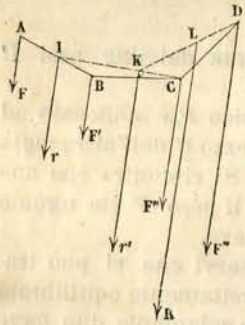


Fig. 12.

32. Decomposizione delle forze. — Come si può, dato un certo numero di forze, comporle e trovare una forza unica che produca lo stesso effetto delle forze date, si può anche, data una forza unica, decomporla in due o più forze le quali producano il medesimo effetto della forza data. Così, per esempio, la forza $A\,D$ (fig. 5) può venir sostituita dalle due forze $A\,B$ ed $A\,C$, giacchè essa ne è in fatto la risultante. Come si vede, per decomporre una forza data, applicata ad un punto materiale, in due altre, di cui sono determinate le direzioni, bisogna. dall'estremità D della retta che rappresenta la forza da decomporre, tracciare delle rette parallele alle direzioni date; queste determineranno colla loro intersezione colle direzioni stesse, i punti B e C e quindi le grandezze $A\,B$ ed $A\,C$ delle forze che possono sostituirsi alla forza data.

La composizione di più forze in una forza unica costituisce una semplificazione evidente, sulla quale è inutile di oltre insistere. In quanto alla decomposizione, non se ne vede tanto facilmente la utilità; sembra, a primo aspetto, che essa sia origine di maggior complicazione; ma non è così e nel corso del trattato occorrerà di far spesso uso della decomposizione. Si capisce infatti come nel caso di una forza applicata ad un punto i di cui movimenti sono incagliati da legami fisici, non sia facile lo scorgere l'effetto che la forza dovrà produrre. Si può però in molti casi decomporre questa forza in componenti delle quali, alcune vengono annullate dalle condizioni stesse del sistema, e le altre possono agire in modo direttamente apprezziabile.

Eccone un esempio applicato a spiegare come due barche a vela possano assumere movimenti opposti, pur essendo sottoposte allo stesso vento. Come è noto, questo risultato si ottiene con un'opportuna orientazione della vela (fig. 13).

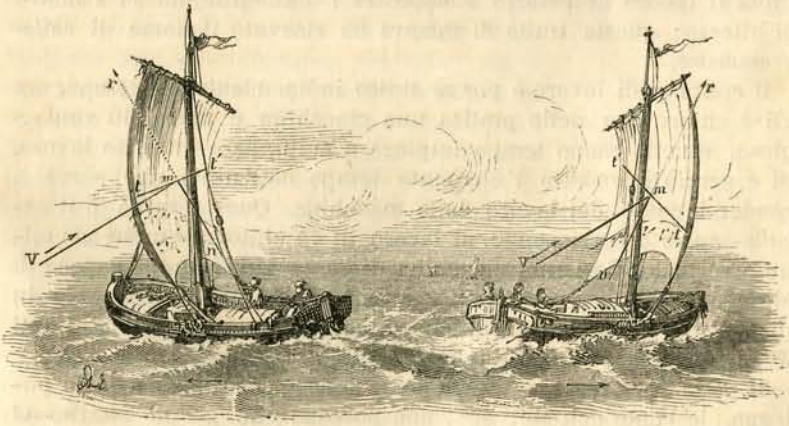


Fig. 13

Nel caso della figura a sinistra il vento, soffiando nella direzione $V\,m$, dà origine ad un' impulsione che puossi decomporre in due al punto m; l'una $t\,t'$ tangente alla vela, non ha alcun effetto; l'altra, a quella perpendicolare, $m\,n$ tende a spingere obliquamente la barca verso la sinistra della figura. Siccome però il movimento della barca può effettuarsi con maggiore facilità nel senso dell' asse di questa, così si può decomporre la $m\,n$ in due componenti; una perpendicolare all'asse della barca e di poco effetto; l'altra nella direzione dell' asse stesso e determinante l'avanzarsi della barca nel senso indicato dalla freccia sottoposta alla figura.

Nell'altra figura si vede come le stesse decomposizioni conducono ad un risultato opposto; il movimento della barca è opposto al primo, sebbene la direzione del vento sia la stessa. In fatto i due movimenti non sono precisamente opposti, giacchè non puossi trascurare l' azione della componente perpendicolare all' asse della barca; questa azione, sempre apprezzabile, è la causa di ciò che dicesi *deriva*.

33. Lavoro di una forza. — Nelle diverse operazioni a cui vengono impiegate le forze, si tratti di sollevare dei pesi, di comprimere, di forare, di polverizzare dei corpi solidi, ecc., è chiaro come debbasi sempre superare una certa resistenza e produrre un certo spostamento. Si è perciò condotti, sotto il punto di vista delle applicazioni, alla considerazione, di un elemento meccanico speciale, formato dalla combinazione della forza collo spostamento del suo punto di applicazione; questo elemento è ciò che dicesi *lavoro*.

Il lavoro di una forza è il prodotto di questa forza per lo spostamento che essa induce nel suo punto di applicazione.

In questa definizione si ammette che la forza sia costante e che il moto del punto di applicazione avvenga nella direzione stessa della forza.

Per valutare il lavoro prodotto da una macchina, si assume per unità il lavoro necessario a sollevare 1 chilogrammo ad 1 metro di altezza; questa unità di misura ha ricevuto il nome di *chilogrammetro*.

Il concetto di lavoro è per sè stesso indipendente dal tempo; ma gli è chiaro che nella pratica una macchina è tanto più vantaggiosa, quanto meno tempo impiega a sviluppare un dato lavoro. Si è perciò introdotto l' elemento tempo nell' unità che serve a rendersi conto del lavoro delle macchine. Questa unità è il *cavallo-vapore* e corrisponde al lavoro di 75 chilogrammetri al minuto secondo. Così, una macchina di 30 cavalli è quella capace di elevare $30 \times 75 = 2250$ chilogrammi ad 1 metro di altezza in un secondo; o, più generalmente, un certo numero di chilogrammi P ad un altezza H tale che il prodotto $P\,H$ sia 2250.

34. Moto di rotazione. — Certi pezzi delle macchine, come le pulegge, le ruote dentate, ecc., non possono che girare attorno ad un asse fisso. Si dice che questi organi possiedono un *moto di ro-*

tazione. Tutti i punti di un corpo in rotazione descrivono delle circonferenze situate in piani fra loro paralleli e perpendicolari all'asse di rotazione.

35. Velocità angolare. — Da un punto qualunque di un corpo in rotazione si tracci la perpendicolare all'asse di rotazione. Questa perpendicolare formerà successivamente angoli differenti colla posizione primitiva. Si dice che il moto di rotazione è uniforme quando la perpendicolare stessa descrive angoli uguali in tempi uguali qualsivogliano; l'angolo descritto nella unità di tempo dicesi *velocità angolare* del moto uniforme di rotazione. La terra, per esempio, compiendo un giro sul suo asse in 24 ore siderali, la retta immaginaria di cui si è detto, descrive in ogni ora un angolo di $\frac{360}{24} = 15^\circ$ gradi. La terra adunque nel suo movimento di rotazione intorno alla retta dei poli possiede una velocità di 15° all'ora.

Quando gli angoli descritti in intervalli di tempo uguali sono disuguali, si dice che il moto di rotazione è vario. La velocità ad un dato istante, è quella corrispondente al moto uniforme che succederebbe al moto vario se, a partire da questo istante, la causa acceleratrice o ritardatrice cessasse di agire.

Quando un movimento di rotazione uniforme è un po' rapido, se ne esprime più spesso la velocità col numero di giri compiti nell'unità di tempo. Si dirà, per esempio, che una ruota ha la velocità di 10 giri al secondo.

36. Forza centrifuga. — Si consideri un punto materiale M fisso all'estremità di un filo O M (fig. 14), e si immagini data a questo punto una impulsione.

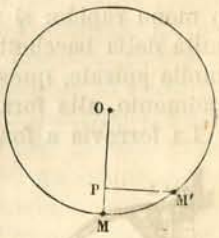


Fig. 14.

In causa dell'inerzia, il punto tende a muoversi, in ciascun momento, nel senso della tangente alla circonferenza descritta; ma il filo impedisce questo movimento tirando a sè il punto, il quale, a sua volta, reagisce sul filo e lo mantiene in una certa tensione, alla quale si è dato il nome di *forza centrifuga*. È facile, colla mente, di sopprimere il filo e di supporre in suo luogo, un'opportuna forza applicata in O. Questa forza che, combinata coll'impulsione iniziale, produrrebbe il moto circolare, porta il nome di forza *centripeda* ed evidentemente è uguale ed opposta alla forza centrifuga.

37. Diversi effetti della forza centrifuga. — Nei corsi di fisica si fanno diverse esperienze sulla forza centrifuga. Così, ad esempio, si fissa sull'apparecchio rappresentato dalla figura 15, una bacchetta AB, sulla quale sono infilate due sfere d'avorio M ed M' e, per mezzo del meccanismo, si imprime al sistema un moto di rotazione più

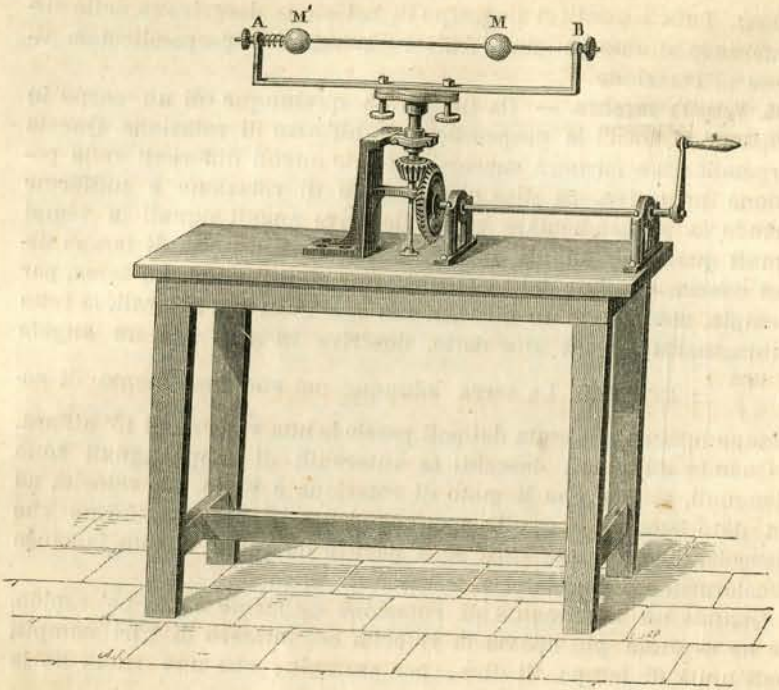


Fig. 15.

o meno rapido; si vedono allora sfuggire le sfere verso le estremità della bacchetta. Se dalla parte della sfera *M* si è posta una molla spirale, questa è premuta con una forza uguale, in ciascun momento, alla forza centrifuga.

La ferrovia a forza centrifuga (fig. 16) mostra un effetto di que-

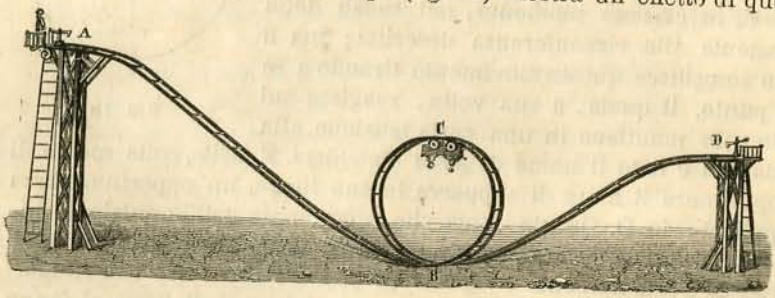


Fig. 16.

sta forza. Un vagoncino parte dal punto *A*, scende sulle guide inclinate *AB*, risale seguendo il loro tracciato, che forma un giro di elica, e viene finalmente a fermarsi in *D*. Vi è, come si vede, un

momento in cui il vagone si trova in C alla parte superiore della porzione curvilinea e resta sospeso in opposizione all'azione della gravità. Ciò si spiega facilmente. Il vagone, in seguito al suo movimento sulla prima parte inclinata della strada, ha assunta una certa velocità. Per inerzia esso tende a muoversi con questa velocità in direzione rettilinea, ma, obbligato a seguire le guide curve, reagisce su queste con una forza, il di cui valore può essere calcolato dietro le leggi di cui si parla più innanzi. Se il punto A è preso abbastanza alto al di sopra del punto D, questa forza potrà precisamente equilibrare il peso del vagone e questo non potrà cadere. Si potrebbe facilmente mostrare che per ciò è necessario che l'altezza del punto A superi almeno di $^1/_5$ quella del punto D.

38. Leggi sulle variazioni della forza centrifuga. — L' intensità della forza centrifuga dipende dalla velocità del mobile e dalla grandezza della circonferenza descritta. Col calcolo si dimostra che essa è proporzionale al quadrato della velocità del corpo ed inversamente proporzionale al raggio della circonferenza descritta. Per corpi poi di diversa massa, a parità delle altre condizioni, è proporzionale alle loro masse.

Nel moto uniforme di rotazione di un corpo intorno ad un asse, ciascuna molecola descrive una propria circonferenza e risentirà pertanto una forza centrifruga proporzionale al quadrato della propria velocità. D'altra parte la forza centrifuga stessa varia pure, per ciascuna molecola, in ragione inversa della sua distanza dall' asse di rotazione. Mano mano che questa distanza aumenta, cresce nello stesso rapporto anche la velocità di rotazione. Da tutto ciò consegue che per una distanza doppia, per esempio, la velocità diventando pur doppia, la forza centrifuga diventa quadrupla; d'altra parte in causa della raddoppiata distanza dall'asse la forza centrifuga si riduce a metà: essa è quindi la metà del quadruplo ossia il doppio della primitiva. La forza centrifuga varia dunque proporzionalmente alla distanza della molecola dall'asse di rotazione, giacchè è facile di generalizzare il precedente risultato. Si può dunque enunciare la legge seguente: *Quando un corpo ruota di moto uniforme attorno ad un asse fisso, le forze centrifughe corrispondenti ai diversi punti del corpo, sono proporzionali alle rispettive distanze di questi punti dall'asse.*

39. Schiacciamento della terra. — Si immagini una massa sferica fluida sottoposta ad un movimento di rotazione intorno ad un asse passante pel suo centro. Si decomponga mentalmente questa massa in istrati perpendicolari all'asse di rotazione; è chiaro che i punti appartenenti alle zone degli strati di mezzo, sono animati da forze centrifughe più grandi che non i punti delle zone degli strati vicini

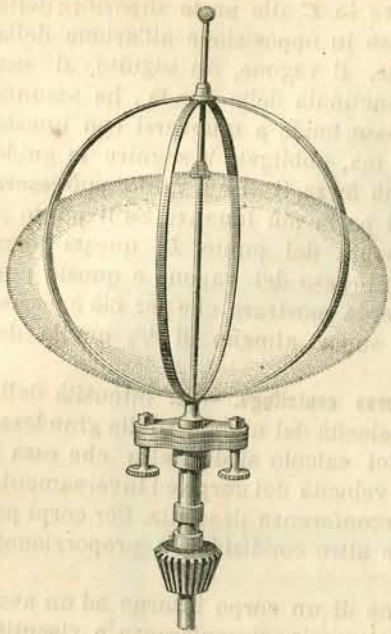


Fig. 17.

alle estremità dell'asse. In causa della fluidità del sistema le molecole possono obbedire alla forza centrifuga: la massa dunque si deformerà; essa si schiaccerà nel senso dell'asse e si rigonfierà nel senso perpendicolare a questo.

Si può mostrare questo fenomeno montando sull'apparecchio rappresentato dalla figura 14, una specie di sfera formata da quattro molle d'acciajo flessibili (fig 17).

Ponendo l'apparecchio in rapida rotazione, si vede la sfera schiacciarsi tanto più quanto più è grande la velocità di rotazione impressagli.

La forma attuale della terra, schiacciata ai poli e rigonfia all'equatore, sarebbe derivata dalla forza centrifuga sviluppata dal movimento di rotazione diurno. Molte circostanze inducono infatti a credere che la terra fosse primitivamente allo stato fluido. Le sue diverse parti avrebbero dunque potuto obbedire alla forza centrifuga; il conseguente raffreddamento avrebbe poi operata la solidificazione della crosta terrestre (1).

---

(1) Secondo Bessel: Raggio all'equatore metri 6,377,398, 1.
» al polo » 6,356,079, 9.
Differenza » 21,318, 2.
Raggio medio » 6,366,739

NOTA DEL TRADUTTORE.

APPENDICE [1]

SUGLI

ELEMENTI DI MECCANICA

CAPITOLO IV.

MOTO.

40. Quiete e moto. — Un corpo che occupasse una posizione invariabile nello spazio si direbbe in *quiete assoluta*. — Un corpo che assume successivamente diverse posizioni nello spazio dicesi in moto.

In natura però non esistono corpi in quiete assoluta; il moto e la quiete che si osservano non sono dunque che relativi.

Un corpo si dice in *quiete relativamente* ad un altro, quando non cambia di posto rispetto a questo.

Dicesi in *moto relativo* nel caso opposto. Ne consegue che, a seconda dei termini di confronto, uno stesso corpo può essere contemporaneamente considerato in moto ed in quiete relativi: ne è esempio il caso dei corpi collocati su di un bastimento in moto (17) e (18).

41. Forza. — Qualunque causa capace di porre in moto un corpo in quiete o di modificare il movimento da esso posseduto, dicesi *forza* (15) e (25).

42. Trajettoria. — Nel trattare di un corpo in movimento, ordinariamente non si considera che il moto di un suo punto materiale; la linea descritta da questo punto nel muoversi dicesi *trajettoria*. La trajettoria può essere una linea retta od una curva: da qui le denominazioni di *moto rettilineo* e di *moto curvilineo;* a quest'ultimo appartengono il moto *circolare*, il *parabolico*, l'*elittico*, ecc., ecc.

Se i diversi punti materiali di un corpo descrivono trajettorie parallele ed uguali qualsiasi, il moto dicesi di *traslazione*. Quando invece descrivono circonferenze aventi i centri in una stessa retta ed il di cui piano è perpendicolare a questa retta stessa, il moto dicesi di *rotazione:* la retta luogo comune dei centri vien detta *asse di rotazione*.

43. Spazio. — La misura della trajettoria descritta da un corpo dicesi spazio. Onde avere una completa cognizione del moto di un corpo, non basta conoscerne la trajettoria in grandezza e posizione, ma bisogna anche considerare il tempo impiegato dal mobile a percorrerne le diverse parti. Da questa considerazione derivano diverse specie di movimento.

(1) In questa appendice vennero compendiate, per cura del traduttore, le nozioni di meccanica chieste dai programmi delle scuole secondarie.

44. Moto uniforme. — *Dicesi uniforme un moto nel quale il rapporto tra uno spazio percorso qualunque, ed il tempo impiegato a percorrerlo, è costante* (21). Sia s uno spazio qualunque percorso di moto uniforme nel tempo t, sarà:

$$(1) \qquad \frac{s}{t} = v$$

Il rapporto costante v dicesi *velocità* del moto.

Ponendo nella (1) $t = 1$, si ottiene $s = v$: la velocità è dunque misurata dallo spazio percorso in una unità di tempo.

Dalla (1) si ricavano le seguenti relazioni:

$$(2) \quad s = v\,t \qquad\qquad (3) \quad t = \frac{v}{s}$$

le quali, insieme alla (1), permettono di calcolare uno qualunque degli elementi del moto uniforme, quando si conoscano gli altri due.

45. Leggi del moto uniforme. — Sieno s', t', v' rispettivamente lo spazio, il tempo e la velocità in un altro moto uniforme; si avrà:

$$(a) \qquad s' = v'\,t'$$

Confrontando fra loro la (2) e la (a) si ottiene:

$$(b) \qquad \frac{s}{s'} = \frac{v\,t}{v'\,t'}$$

1.° Facendo nella (b), $t = t'$ si ottiene:

$$\frac{s}{s'} = \frac{v}{v'}$$

Cioè: *Gli spazi percorsi in tempi uguali da mobili in moto uniforme, sono proporzionali alle rispettive velocità.*

2.° Posto invece $v = v'$ si ha:

$$\frac{s}{s'} = \frac{t}{t'}$$

A pari velocità, gli spazi percorsi di moto uniforme sono proporzionali ai tempi rispettivamente impiegati a percorrerli.

3.° Finalmente se si suppone $s = s'$ sarà $v\,t = v'\,t'$ da cui

$$\frac{t}{t'} = \frac{v'}{v}$$

I tempi necessari a percorrere, con moto uniforme, uguali spazi, sono inversamente proporzionali alle rispettive velocità dei mobili.

46. Moto uniformemente vario. — Un moto dicesi vario quando la sua velocità subisce continue variazioni. *Per velocità di un moto vario ad un dato istante,* intendesi poi la velocità colla quale il mobile continuerebbe a muoversi di moto uniforme, se, in quell'istante, cessasse la causa della variazione di velocità.

Se la velocità va continuamente crescendo, il moto dicesi *accelerato;* nel caso opposto dicesi *ritardato.* Se poi la variazione di velocità, essendo continua in un dato senso, è anche costante in grandezza, il moto prende il nome di *uniformemente vario.*

Questo poi si distingue in *uniformemente accelerato ed uniformemente ritardato* (23) e (24).

Nel moto uniformemente vario, il rapporto tra la differenza di due velocità, considerate ad istanti diversi qualsivogliano, ed il tempo impiegato a subire questa variazione di velocità, è costante.

Sieno: c la velocità iniziale posseduta da un corpo in moto uniformemente vario, v la sua velocità dopo un tempo t; si avrà dunque la relazione:

$$\frac{v - c}{t} = \pm a \tag{4}$$

La quantità costante a dicesi l'*accelerazione* o la *ritardazione* del moto, a seconda che questo è uniformemente accelerato ($v > c$) od uniformemente ritardato ($v < c$).

Se nella (4) si pone $t = 1$ si ottiene:

$$v - c = \pm a$$

Vale a dire, che l'accelerazione è misurata dall'aumento o dalla diminuzione di velocità che il mobile subisce in una unità di tempo.

Dalla (4) si ricava:

$$v = c \pm at \tag{5}$$

Se in questa relazione si fa $c = 0$, cioè, se si suppone che il mobile parta dalla quiete:

$$v = at \tag{6}$$

Dall'ispezione di questa formola si ricava che nel moto uniformemente vario, a parità di accelerazione, *le velocità in istanti differenti sono rispettivamente proporzionali ai tempi trascorsi per acquistare tali velocità.*

47. Ad ottenere la relazione che fornisce la misura dello spazio percorso di moto uniformemente vario, in un dato tempo t, si può seguire il metodo seguente: Si divida il tempo t in un numero n di parti uguali; ciascuna di esse sarà $\frac{t}{n}$. Si supponga allora che, in ciascuno di questi intervalli di tempo, il moto sia uniforme e di velocità uguale a quella che il mobile acquisterebbe alla fine di ciascuno di essi, se si muovesse di moto uniformemente accelerato. Ciò posto, la somma degli spazi così ottenuti darà *approssimativamente* lo spazio percorso dal mobile nel tempo t con moto uniformemente accelerato. L'approssimazione poi riescirà evidentemente tanto più grande quanto più grande è il numero n di parti in cui si sarà diviso il tempo t.

Passando ora alle calcolazioni dietro il principio esposto, sia a l'aumento di velocità in ciascuno dei tempuscoli $\frac{t}{n}$; le velocità acquistate alla fine degli intervalli di tempo:

$$\frac{t}{n}, 2\frac{t}{n}, 3\frac{t}{n} \ldots\ldots n\frac{t}{n}$$

per la relazione (6), sono rispettivamente:

$$a\frac{t}{n}, 2a\frac{t}{n}, 3a\frac{t}{n} \ldots\ldots na\frac{t}{n}$$

e quindi gli spazi descritti di moto uniforme con tali velocità, in ciascuno dei successivi intervalli di tempo uguali a $\frac{t}{n}$, per la relazione (2), sono:

$$a\frac{t^2}{n^2}, 2a\frac{t^2}{n^2}, 3a\frac{t^2}{n^2} \ldots\ldots na\frac{t^2}{n^2}$$

Posto S lo spazio descritto nel tempo t, per quanto si è detto:

$$S = a\frac{t^2}{n^2} + 2a\frac{t^2}{n^2} + 3a\frac{t^2}{n^2} \ldots\ldots \frac{t^2}{n^2}$$

ossia:

BIBLIOTECA DELLA FACOLTÀ DI LETTERE E FILOSOFIA TORINO

$$S = a \frac{t^2}{n^2} (1 + 2 + 3 + \ldots\ldots + n);$$

l'espressione tra parentesi essendo la somma dei termini di una progressione aritmetica, si potrà scrivere:

$$S = a \frac{t^2}{n^2} \times \frac{(n+1)\,n}{2} = \frac{a\,t^2\,n + a\,t^2}{2\,n}$$

ed anche:

$$S = \frac{a\,t^2}{2} + \frac{a\,t^2}{2\,n}.$$

Se si suppongono infinitamente piccoli gli intervalli in cui il tempo t venne diviso, sarà $n = \infty$ e quindi la precedente relazione si ridurrà alla seguente:

(7) $$S = {}^1/_2\, a\, t^2$$

che permette di calcolare lo spazio percorso, a partire dalla quiete, da un mobile animato da moto uniformemente accelerato, quando si conosca l'accelerazione ed il tempo per cui è durato il movimento.

48. Leggi del moto uniformemente vario. — Posti S_1, a_1, t_1 rispettivamente lo spazio, l'accelerazione, il tempo in un altro moto uniformemente vario si ha:

(a) $$S_1 = {}^1/_2\, a_1\, t_1^2.$$

Confrontando la (7) colla (a):

$$\frac{S}{S_1} = \frac{a\ t_2}{a_1\, t_1^2}$$

dove posto $a = a_1$ si ottiene:

$$\frac{S}{S_1} = \frac{t^2}{t_1^2}.$$

Cioè che: *nel moto uniformemente accelerato, a partire dalla quiete, gli spazi percorsi sono proporzionali al quadrato dei tempi rispettivamente impiegati a percorrerli.*

Se l è lo spazio percorso nella prima unità di tempo, gli spazi percorsi in:

$$1,\ 2,\ 3,\ 4,\ 5\ \ldots\ldots\ t$$

unità di tempo, sono rispettivamente:

$$l,\ 4\,l,\ 9\,l,\ 16\,l,\ 25\,l\ \ldots\ \ t^2\,l$$

e di conseguenza, quelli percorsi in ogni singola e successiva unità di tempo:

$$l,\ 3\,l,\ 5\,l,\ 7\,l,\ 9\,l\ \ldots\ (t^2 - (t-1)^2\,l$$

cioè: *gli spazi percorsi di moto uniformemente accelerato in ogni singola e successiva unità di tempo, stanno fra loro come i termini della serie ordinata dei numeri dispari.*

Se nella (7) si pone $t = 1$ si ha:

$$s = {}^1/_2\, a.$$

Cioè che *lo spazio descritto nella prima unità di tempo, a partire dalla quiete, è dato dalla metà dell'accelerazione.*

La relazione (7) si può scrivere anche nel modo seguente:

$$S = {}^1/_2\, a\, t \times t$$

ed essendo $a\,t = v$

(8) $$S = \frac{v}{2} \times t$$

relazione che insegna come, conosciuta la velocità finale v di un moto uniformemente accelerato, durato per t unità di tempo a partire della quiete, si può calcolarne lo spazio colla formola (2) del moto uniforme, purchè si ponga per velocità la metà della velocità finale del moto uniformemente accelerato.

Dal confronto poi della (2) e della (8) risulta:

$$s = 2\,S$$

In generale la si può dire, che *lo spazio descritto di moto uniformemente accelerato in un dato tempo, è uguale allo spazio descritto in ugual tempo con un moto uniforme, avente per velocità la media delle velocità, iniziale e finale, del moto uniformemente accelerato.*

Quando questo fatto sia dimostrato sperimentalmente, dalla relazione (2) si ricava facilmente la (7).

49. Se ne potrà anche trar vantaggio per trovare le relazioni corrispondenti al caso in cui il mobile, anzichè partire dalla quiete, si trovi già animato da una velocità iniziale c: infatti pel principio ora enunciato sarà:

$$S = \frac{c + v}{2} \times t, \tag{9}$$

posto in questa relazione per v il valore dato dalla (5) si ha

$$S = c\,t \pm {}^1/_2\,a\,t^2, \tag{10}$$

dove il segno positivo corrisponde al caso del moto accelerato ed il segno negativo a quello del moto ritardato.

Eliminando t fra la (5) e la (10), si ottiene:

$$S = \frac{v^2 - c^2}{2\,a}, \tag{11}$$

relazione che serve a calcolare lo spazio quando sieno noti la velocità iniziale, la finale, e l'accelerazione.

Ed anche la:

$$v = \sqrt{c^2 \pm 2\,a\,S}, \tag{12}$$

che serve a calcolare la velocità finale in funzione della velocità iniziale, dello spazio e dell'accelerazione.

Se il moto comincia dalla quiete, $c = o$ e le relazioni precedenti diventano rispettivamente:

$$S = \frac{v^2}{2\,a} \tag{13}$$

$$v = \sqrt{2\,a\,S} \tag{14}$$

Se, facendo astrazione dalle resistenze sofferte dal mobile, si volesse conoscere quanto tempo deve trascorrere perchè la causa ritardatrice riduca il mobile in quiete, basterebbe nella relazione (5) porre $v = o$; considerato il segno negativo, si ottiene:

$$t = \frac{c}{a}$$

50. *Osservazione.* — **Rappresentazione grafica delle leggi di un moto.** — Le leggi del moto possono venir rappresentate con figure geometriche i di cui elementi hanno tra loro relazioni analoghe a quelle che passano tra gli elementi de moto stesso.

1.° *Moto uniforme.* — Prese due rette m ed n a rappresentare rispettivamente l'unità di tempo e l'unità di spazio: tracciate le $O\,x$ ed $O\,y$ ad angolo retto (fig. 18) e prese, a partire dall'origine O, sulla $O\,y$ successivamente tante volte m quante sono le unità di tempo t, e sopra $O\,x$ tante volte n quante

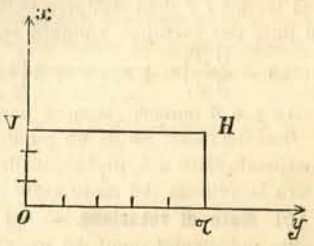


Fig. 18.

unità contiene la velocità v, l'area del rettangolo $O\ T\ V\ H$ rappresenterà lo spazio percorso dal mobile nel tempo t colla velocità v, quando però si prenda per unità di misura di superfice il rettangolo formato sopra m ed n. Posto, $OV = V$; $OT = T$, ed S l'area così trovata, questa sarà espressa da: $S = V\ T$, relazione di forma identica a quella stabilita per lo spazio del moto uniforme (44).

È poi agevole di accorgersi dell'analogia delle relazioni che passano fra elementi del rettangolo con quelle che passano fra gli elementi del moto uniforme. ((a) i rettangoli di ugual base stanno fra loro come le rispettive altezze. (b) i rettangoli di ugual altezza stanno fra loro come le rispettive basi. (c) a parità di area, le basi di due rettangoli sono inversamente proporzionali alle rispettive altezze).

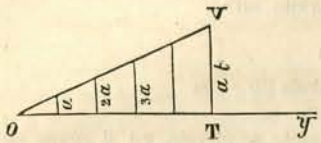


Fig. 19.

2.° *Moto uniformemente accelerato.* — Sulla $O\ y$ (fig. 19), a partire da O, si prendano successivamente tante parti uguali ad m quanto lo indica il tempo t; dai punti di divisione si elevino le perpendicolari alla $O\ y$ e su queste si prendano, successivamente a partire da O, delle lunghezze proporzionali dalle velocità del moto alla fine dei successivi tempi 0, 1, 2, 3 . . . . . Tracciata la $O\ V$ che riunisce gli estremi liberi delle diverse normali, si ottiene il triangolo rettangolo $O\ T\ V$, la di cui area, misurata come già si è detto, fornisce lo spazio descritto di moto uniformemente accelerato: infatti area $S = {}^1/_2\ T\ V \times O\ T = {}^1/_2\ a\ t \times t = {}^1/_2\ a\ t^2$. È poi facile, dal triangolo rettangolo stesso, di ricavare le diverse leggi del moto uniformemente accelerato.

In un modo analogo si stabilirebbe la costruzione se il moto uniformemente vario cominciasse con una certa velocità iniziale, anzichè dalla quiete. La figura corrispondente sarebbe, in questo caso, un trapezio birettangolo.

3.° *Moto vario qualunque.* — È pel caso del moto vario qualunque che questo modo di rappresentazione delle leggi del movimento presta grandi servigi, e ciò vuoi per la facile calcolazione dello spazio percorso, vuoi perchè a primo colpo d'occhio dà idea delle variazioni di velocità.

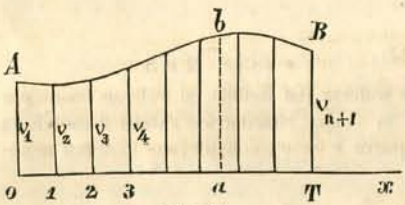


Fig. 20.

Sieno (fig. 20) v_1, v_2, v_3, ... le successive perpendicolari alla $o\ x$, in lunghezza proporzionali alle velocità di un moto vario qualunque, rispettivamente negli istanti 0, 1, 2, 3, ... t. Lo spazio descritto dal mobile nel tempo t è dato dall'area della figura mistilinea $O\ A\ B\ T$, area che facilmente si può, per esempio, valutare colla nota formola di Simpson:

$$(15)\ S = \frac{0\ T}{3\ p}\left\{v_1 + v_{n+1} + 2\left(v_3 + v_5 + \ldots + v_{n-1}\right) + 4\left(v_2 + v_4 + \ldots + v_n\right)\right\}$$

dove p è il numero, sempre pari, delle parti in cui si divide la $O\ T$.

Osservazione. Se da un punto qualunque a della $O\ T$ si traccia a questa la perpendicolare $a\ b$, prolungata fino ad incontrare la curva $A\ B$, la misura della $a\ b$ darà la velocità del moto vario nell'istante a. ($O\ a$).

51. Moto di rotazione. — Nel moto di rotazione (34) e (35) la velocità è differente pei diversi punti del mobile e, precisamente, è massima pei punti più lontani dall'asse, nulla pei punti sull'asse stesso. Parlando dunque di velocità nel moto rotatorio, bisognerà riferirla ad un punto di data distanza dall'asse.

Il moto di un corpo in rotazione si dirà uniforme o vario a seconda che gli angoli descritti, in tempi uguali qualsiansi, da una retta perpendicolare all'asse, sono o no uguali.

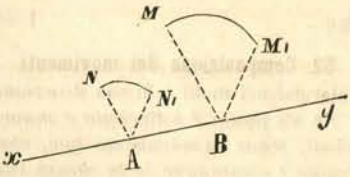


Fig. 21.

Sieno M ed N (fig. 21) due punti di un corpo in moto uniforme di rotazione intorno all'asse $x\ y$; R ed r le rispettive distanze dei punti stessi dall'asse. Trascorso un certo tempo t, i due punti M ed N avranno descritti archi $M\,M^1$, $N\,N^1$ di ugual misura; si avrà quindi:

$$(a) \qquad M\,M^1 : N\,N^1 = R : r$$

Se V e u sono le velocità rispettive dei punti M ed N, allora

$$(44) \qquad M\,M' = V\,t, \quad N\,N^1 = u\,t$$

valori che sostituiti nella (a) danno:

$$V\,t : u\,t = R : r$$

ossia:

$$(b) \qquad V : u = R : r$$

Cioè: *Le velocità di punti diversamente lontani dall'asse di rotazione son proporzionali alle rispettive distanze dall'asse stesso.*

Posto $r = 1$, unità di misura lineare, dalla (b) si ricava:

$$(16) \qquad V = u\,R$$

La velocità u alla distanza unitaria dall'asse, prende il nome di velocità angolare. *La velocità di un punto qualunque è dunque uguale alla velocità angolare moltiplicata per la distanza del punto stesso dall'asse di rotazione.*

Dalla (16) si ricava:

$$(17) \qquad u = \frac{V}{R}$$

espressione che serve a calcolare la velocità angolare, quando si conosca la velocità di traslazione di un punto qualunque e la distanza di questo dall'asse.

La velocità di un punto qualunque si può anche facilmente dedurre dal numero dei giri fatti dal corpo in un certo tempo. Sia N il numero di giri compiti in t''; lo spazio descritto in questo tempo da un punto a distanza R dall'asse è: $2\,\pi\,R\,N$, da cui:

$$(18) \qquad V = \frac{2\,\pi\,R\,N}{t}$$

Nelle pratiche applicazioni si preferisce, onde formarsi un'idea della rapidità del moto rotativo di un corpo, senza prendere in particolare considerazione la velocità di un suo punto, di esprimere la velocità col numero dei gradi che misura l'angolo descritto nell'unità di tempo da una retta perpendicolare all'asse di rotazione; a questa velocità si dà pure il nome di velocità angolare.

Si dice, ad esempio, che la velocità angolare della terra è di 15° all'ora. Se la velocità supera un certo limite, la si esprime col numero di giri eseguiti nell'unità di tempo.

Dalla velocità angolare data in gradi, si passa facilmente alla velocità angolare misurata in lunghezza: se la velocità angolare misura n°, si avrà:

$$(19) \qquad u = \frac{2\,\pi\,n}{360}$$

La velocità di un punto qualunque è poi:

$$V = \frac{2\pi R \,.\, n}{360} \tag{20}$$

52. Composizione dei movimenti. — Un'altro elemento importantissimo da considerarsi nel moto è la sua *direzione*, vale a dire senso in cui ha luogo.

Se un punto è sollecitato a muoversi contemporaneamente in diverse direzioni, segue un movimento tale, che la posizione in cui esso arriva dopo un tempo t qualunque, è la stessa come se esso punto avesse successivamente seguito ciascun moto separatamente per l'ugual tempo t.

Questo fatto può dimostrarsi sperimentalmente.

I diversi moti coesistenti diconsi *moti componenti* ed il moto seguito dal punto dicesi *moto risultante*. Il problema: *Date le velocità dei moti componenti, trovare la velocità del loro moto risultante*, è conosciuto col nome di *composizione dei movimenti o delle velocità*. Il problema inverso prende il nome di *scomposizione dei movimenti o delle velocità*.

1.° *Composizione di movimenti le cui direzioni si trovano nella stessa retta:* Se $O\,N$ ed $O\,M$ (fig. 22) rappresentano gli spazi che sarebbero percorsi dal punto O nello stesso tempo e nello stesso senso, lo spazio $O\,R$ descritto dal moto risultante risulta, pel principio sopra esposto, uguale alla somma degli spazi descritti dai moti componenti; quindi:

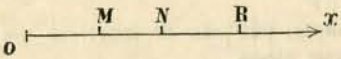


Fig. 22.

$$O\,R = O\,N + O\,M. \tag{a}$$

Se i due moti accadono in sensi opposti, $O\,R$ riesce uguale alla differenza degli spazi descritti dai moti componenti:

$$O\,R = O\,M - O\,N \tag{b}$$

Se si conviene di prendere come positivi, per esempio, i moti diretti sulla destra del punto di partenza O e come negativi quelli diretti sulla sinistra di esso, si possono riunire i due casi precedenti in uno e dire che: *Lo spazio descritto dal moto risultante di due o più movimenti diretti nella stessa retta, è dato dalla somma algebrica degli spazi descritti, in tempi uguali a quello per cui è durato il moto risultante, dai moti componenti.*

Se, in caso particolare, si suppone che i due moti sieno ambidue uniformi, che v e v' sieno le loro velocità e t il tempo per cui è durato il moto, si ha:

$$O\,N = v\,t, \quad O\,M = v'\,t$$

e sostituendo nelle precedenti relazioni questi valori: $O\,R = vt \pm v'\,t$ ossia

$$O\,R = (v \pm v')\,t \tag{c}$$

Il moto risultante è dunque pure uniforme. Dividendo poi i due membri della *(c)* per t ed osservando che $\frac{OR}{t} = V$ velocità del moto risultante si ha:

$$V = v \pm v'$$

Cioè, che *la velocità del moto risultante è uguale alla somma algebrica delle velocità dei moti componenti.*

Se si suppone che i due moti sieno ambidue uniformemente accelerati, si ricava, in modo analogo, che il moto risultante è pure uniformemente accelerato e che *la sua accelerazione è uguale alla somma algebrica delle accelerazioni dei moti componenti.*

2.° *Moti le cui direzioni fanno angolo fra di loro.* — Sia il punto materiale O sollecitato a moversi secondo le due direzioni OX, OY (fig. 23) formanti angolo fra loro.

Agisca dapprima la causa del movimento secondo Ox e per essa venga il punto O nella posizione M dopo un tempo t; agisca ora l' altra causa di moto e sia R la nuova posizione del punto materiale dopo un tempo uguale a t; R è pure la posizione in cui il punto O arriverebbe dopo il tempo unico t, se le due cause di moto agissero simultaneamente. Lo spazio MR è evidentemente uguale e parallelo allo spazio ON che il punto O avrebbe percorso secondo Oy, se per la prima avesse agita la causa di moto in questo senso. Il quadrilatero $O\,M\,R\,N$ è dunque un parallelogrammo e si può allora dire, che: *se un punto materiale è sottoposto a muoversi contemporaneamente in due direzioni facenti angolo fra di loro, se ne potrà stabilire la posizione dopo un tempo t qualunque, costruendo il parallelogrammo sulle rette rappresentanti le trajettorie che verrebbero nello stesso tempo t descritte dal punto, in ciascuna delle due direzioni: in questo parallelogrammo, il vertice opposto alla posizione iniziale del punto materiale, dà la posizione del punto stesso dopo il t.*

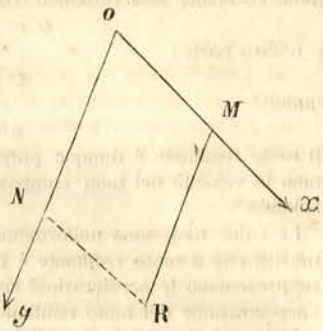


Fig. 23.

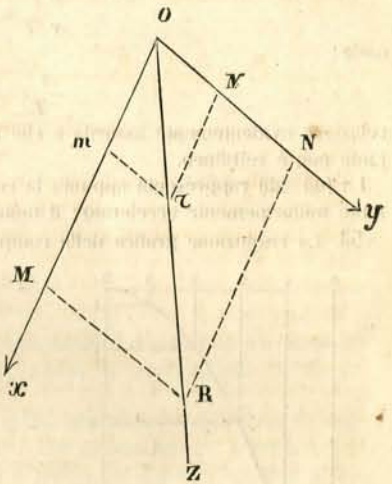


Fig. 24.

Se si ritiene che il punto, O nei tempi t e T qualsiasi, percorra rispettivamente gli spazi $O\,m$, $O\,M$ (fig. 24) secondo, Ox ed On, ON secondo la Oy, per quanto ora si è stabilito, le posizioni del punto O alla fine dei tempi stessi saranno rispetspettivamente r ed R.

Evidentemente perchè il moto risultante sia rettilineo, è necessario che sussista la relazione:

$$(a) \qquad \frac{Om}{OM} = \frac{mr}{MR} \text{ ossia } \frac{Om}{OM} = \frac{On}{ON}$$

cioè, che il rapporto tra gli spazi percorsi nelle due direzioni, in tempi uguali qualsiansi, sia costante; vale a dire che i due moti componenti presentino la stessa legge.

Si supponga, per esempio, che i due moti componenti sieno ambidue uniformi, l'uno di velocità v, di velocità v' l'altro; saranno:

$$O\,m = v\,t \quad ; \quad O\,n = v^1\,t$$
$$O\,M = v\,T \quad ; \quad O\,N = v^1\,T$$

valori, che sostituiti nella (a), fatte le opportune semplificazioni, danno:

$$\frac{t}{T} = \frac{t}{T}.$$

Se ne deduce dunque che se i due moti componenti sono ambedue uniformi, il moto risultante sarà rettilineo. Di più i triangoli simili $O\ m\ r$, $O\ M\ R$ danno:

$$O\ r : O\ R = O\ m : O\ M$$

e d'altra parte:

$$O\ m : O\ M = t : T$$

quindi:

$$o\ r : O\ R = t : T.$$

Il moto risultante è dunque pure uniforme. Se $t = 1$, $O\ m$ e $O\ n$ rappresentano le velocità dei moti componenti; $o\ r$ rappresenta la velocità del moto risultante.

Se i due moti sono uniformemente accelerati ambidue, in modo analogo, si dimostra che il moto risultante è pure uniformemente accelerato. Se $O\ m$ ed $O\ n$ rappresentano le accelerazioni rispettive dei moti componenti, $O\ r$ rappresenta l'accelerazione del moto risultante.

Si supponga ora che uno dei moti sia uniforme e di velocità v, l'altro uniformemente accelerato e di accelerazione a, fatte le debite sostituzioni la (a) diventa:

$$\frac{v\ t}{v\ T} = \frac{\frac{1}{2}\ a\ t^2}{\frac{1}{2}\ a\ T^2}$$

ossia:

$$\frac{t}{T} = \frac{t^2}{T^2}$$

relazione evidentemente assurda e che mostra come, in simil caso, il moto risultante non è rettilineo.

La (fig. 25) rappresenta appunto la composizione di un moto uniforme con un moto uniformemente accelerato; il moto risultante è parabolico.

53. La risoluzione grafica della composizione di due movimenti non fornisce,

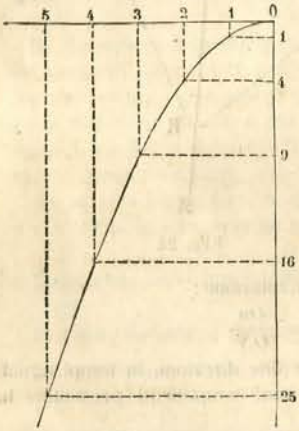


Fig. 25.

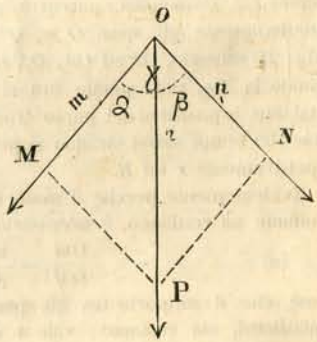


Fig. 26.

per certi casi, valori sufficientemente approssimati; si fa allora ricorso alla determinazione algebrica dei valori stessi.

Sia γ l'angolo formato dalle direzioni di due moti di velocità rappresentate da $O\ M = m$ ed $O\ N = n$, tali da dare un moto risultante rettilineo di velocità $O\ P = r$ (fig. 26). Il triangolo $O\ M\ P$ fornisce la relazione:

$$\overline{OP}^2 = \overline{OM}^2 + \overline{MP}^2 - 2.\ OM\ .\ MP\ .\ \cos\ (180 - \gamma)$$

ossia:

$$r^2 = m^2 + n^2 + 2\ m\ n\ \cos\ \gamma$$

da cui:

$$r = \sqrt{m^2 + n^2 + 2\ m\ .\ n\ .\ \cos\ \gamma} \tag{21}$$

relazione che fornisce la velocità risultante, quando si conoscono la velocità componenti e l'angolo formato dalle direzioni dei moti componenti.

Nel caso particolare che $\gamma = 90°$:

$$r = \sqrt{m^2 + n^2}$$

Si può anche facilmente determinare la direzione del moto risultante rispetto ai componenti. Sien α e β gli angoli formati dalla direzione del moto risultante colle direzioni dei moti componenti; il triangolo $O\ P\ N$ fornisce facilmente le relazioni:

$$sen\ \alpha = \frac{n}{r}\ sen\ \gamma \quad ; \quad sen\ \beta = \frac{m}{r}\ sen\ \gamma \tag{22}$$

che servono allo scopo richiesto.

CAPITOLO V.

DELLE FORZE.

54. Elementi di una forza. — In una forza si hanno a considerare tre elementi: 1.° La sua grandezza od *intensità*. 2.° Il suo *punto di applicazione*. 3.° La *direzione* secondo la quale agisce (25).

1.° *Intensità*. Con opportune disposizioni si può sostituire ad una forza l'azione di un conveniente peso. Si possono dunque, con questo mezzo, confrontare le intensità di diverse forze, qualunque ne sia la natura. Si è perciò stabilito di assumere per unità di misura dell' intensità delle forze il *chilogrammo*.

Spesso però non riesce comodo il misurare l' intensità di una forza col mezzo diretto di pesi; si usano allora, a tale scopo, degli apparecchi fondati sulla elasticità delle molle d'acciajo, detti dinamometri (fig. 4).

2.° *Punto di applicazione*. Per punto di applicazione di una forza s'intende il punto del mobile sul quale la forza agisce direttamente.

3.° *Direzione*. Per direzione di una forza poi, intendesi la direzione, secondo la quale, essa tende a muovere un punto perfettamente libero di muoversi.

55. Forze istantanee e continue, costanti e variabili. — La durata dell'azione delle forze le fa distinguere in *istantanee* e *continue*. Dicesi istantanea una forza che agisce per un tempo brevissimo; questa denominazione non è però rigorosa giacchè non si può concepire effetto che non esiga una certa durata, per quanto questa sia breve.

Una forza dicesi continua quando la sua azione dura per un tempo più o meno lungo.

Rispetto alla loro intensità, le forze si distinguono in *costanti* e *variabili* a seconda che la loro intensità non subisce o subisce variazioni.

In altri termini, una forza dicesi costante quando induce in un mobile un moto uniformemente vario (15), dicesi variabile quando il moto prodotto è vario qualunque (1).

56. Resistenze al moto. — In queste ultime definizioni si fa astrazione dalle resistenze incontrate dal mobile, le quali si intendono nulle od annullate da una azione in ogni istante a loro uguale e contraria.

Le principali resistenze al moto sono l'*attrito* e la *resistenza del mezzo*.

1.° *Attrito.* L'attrito si osserva tutte le volte che un corpo scorre a contatto di un altro. *L'attrito è proporzionale alla forza colla quale i due corpi sono tenuti in contatto ed è tanto più grande quanto più scabre sono le superfici di contatto stesse.* Di qui l'uso di lubrificare le superfici di contatto, allo scopo di diminuire l'attrito fra di esse.

L'attrito provato da un corpo che scorre contro un altro, come in una slitta, in un pernio che gira nel suo occhiello, dicesi *radente*. Dicesi *volvente* l'attrito di un corpo che rotola su di un altro. L'attrito volvente, a parità di condizioni, è assai minore dell'attrito radente. Quando si possa, è dunque conveniente di trasformare l'attrito da radente in volvente; se ne ha esempio nei carri (*tribometro*).

2.° *Resistenza del mezzo.* Per resistenza del mezzo si intende quella offerta al mobile dall'inerzia del fluido entro cui esso si muove. *La resistenza del mezzo è proporzionale all'area della sezione massima del corpo, presa normalmente alla direzione del moto, ed al quadrato della velocità con cui il corpo si muove.*

57. Misura dell'effetto di una forza costante. — I seguenti principi, dedotti dall'esperienza, permettono di confrontare fra loro le forze costanti e di giungere alla misura del loro effetto.

1.° *Due forze costanti di uguale intensità, agendo ciascuna per un ugual tempo sullo stesso corpo, vi inducono uguali velocità.*

2.° *Due forze costanti di diversa intensità, agendo ciascuna per ugual tempo sullo stesso corpo, vi inducono velocità proporzionali alle rispettive intensità.*

Da qui si deduce inversamente che: *Le intensità di due forze costanti sono proporzionali alle velocità da esse indotte nello stesso corpo in tempi uguali.*

Poste dunque F ed F' le intensità di due forze, v e v' le velocità rispettivamente da esse indotte in uno stesso corpo in ugual tempo, sarà:

$$F : F' = v : v'.$$

Si considerino diverse forze F, F', F'', F''' . . . agenti sullo stesso corpo per una unità di tempo, e vi inducano rispettivamente le accelerazioni a, a', a'', a''' . . . ; si avranno, pel principio ora esposto, le relazioni:

$$\frac{F}{F'} = \frac{a}{a'} \; ; \; \frac{F'}{F''} = \frac{a'}{a''} \; ; \; \frac{F''}{F'''} = \frac{a''}{a'''} \; \ldots\ldots$$

ossia:

$$\frac{F}{a} = \frac{F'}{a} \; ; \; \frac{F'}{a'} = \frac{F''}{a''} \; ; \; \frac{F''}{a''} = \frac{F'''}{a'''} \; \ldots\ldots$$

dalle quali si deduce poi per confronto:

$$\frac{F}{a} = \frac{F'}{a'} = \frac{F''}{a''} = \frac{F'''}{a'''} = \ldots\ldots\ldots = m.$$

(1) *Osservazione:* Il moto uniforme ha luogo ogni qualvolta una forza *qualunque* cessa di agire sopra di un corpo, al quale ha impresso una certa velocità.

Cioè, che *è costante il rapporto tra ciascuna forza e la rispettiva accelerazione indotta nello stesso mobile.* Questo rapporto, particolare ad ogni corpo, prende il nome di *massa* del corpo. Si assume per unità di massa quella del corpo sul quale la forza di intensità 1 produce l'accelerazione 1.

Se la forza F, agendo per un certo tempo su di un corpo di massa m, vi induce la stessa velocità v prodotta, in ugual tempo, nella massa m' dalla forza F', si avrà:

$$\frac{F}{v} = m \quad ; \quad \frac{F'}{v} = m'$$

e di conseguenza:

$$F : F' = m : m'.$$

3.° *Le intensità di due forze costanti che, in ugual tempo, inducono la stessa velocità in corpi diversi, sono proporzionali alle rispettive masse di questi corpi.*

Agiscano ora le due forze di intensità F ed F', l'una sulla massa m, l'altra sulla massa m' e vi inducano, in ugual tempo, le velocità rispettive v e v'. Si immagini una terza forza f tale, che agendo per lo stesso tempo sulla massa m, vi induca la velocità v'; pei principi suesposti, si avranno le relazioni:

$$(a) \qquad F : f = v : v'$$

$$(b) \qquad f : F' = m : m'.$$

Moltiplicata termine a termine la (a) per la (b) si ottiene:

$$(c) \qquad \frac{F}{F'} = \frac{m\,v}{m'\,v'}.$$

4.° *Due forze costanti stanno fra loro come i prodotti delle masse rispettivamente poste in movimento per le velocità a queste fatte acquistare in ugual tempo.*

Al prodotto $m\,v$ della massa per le velocità in questa indotta da una forza, si è dato il nome di *quantità di moto.* Si può dunque dire che *due forze stanno fra loro come le rispettive quantità di moto.*

Se si conviene di prendere per unità di misura dell'effetto delle forze, quello di una forza capace di indurre nella massa 1 la velocità 1 nell'unità di tempo, e si suppone che nella (c) sieno appunto $F' = 1$, $m' = 1$, $v' = 1$ e di più si pon mente che nel moto uniformemente accelerato la velocità alla fine della prima unità di tempo non è altro che l'accelerazione a del moto stesso, cosichè $v = a$, si ottiene:

$$(25) \qquad F = m\,a.$$

Cioè, che *una forza costante è misurata dal prodotto della massa posta in moto per l'accelerazione in questa indotta della forza stessa.*

Sieno v e v' le velocità rispettivamente indotte dalla stessa forza in masse differenti m ed m' nello stesso tempo, si avranno le espressioni:

$$F = m\,v \quad ; \quad F = m'\,v'$$

che. confrontate, forniscono la relazione:

$$\frac{v}{v'} = \frac{m'}{m}.$$

5.° *Le velocità indotte dalla stessa forza in masse differenti nello stesso tempo, sono inversamente proporzionali alle rispettive masse stesse.*

Da qui l'importante principio di meccanica che, *con una data forza, ciò che si guadagna in massa posta in movimento, si perde in velocità, e viceversa.*

58. — La gravità essendo, nei limiti delle ordinarie cadute, una forza costante, induce nei corpi cadenti liberamente un moto uniformemente accelerato; sia g l'accelerazione di questo moto, P il peso del corpo cadente o, in altri termini, la misura della gravità sul corpo stesso, posto di massa m. Sarà:

$$(24) \qquad P = m\,g.$$

Da cui si ottiene:

$$m = \frac{P}{g}. \tag{25}$$

Relazione assai comoda per dedurre la misura della massa di un corpo dal peso di questo.

Fatto nella (24) $m = 1$ si ottiene:

$$P = g.$$

Cioè, *il peso dell'unità di massa è misurato dall'accelerazione.*

Posto invece nella (25) $P = 1$ si ottiene:

$$m = \frac{1}{g}.$$

Cioè, *la massa dell'unità di peso è misurata dall'inversa dell'accelerazione.*

Sostituito nella (23) il valore di m dato dalla (25) si ottiene:

$$F = \frac{P}{g} a \tag{26}$$

che fornisce la misura dell'effetto di una forza dietro la conoscenza del peso del corpo su cui la forza stessa agisce, dell'accelerazione che vi induce e della corrispondente accelerazione dei gravi.

59. Rappresentazione grafica delle forze. — Fissata la lunghezza di una certa retta a rappresentare l'unità di misura dell'intensità delle forze, queste possono venir rappresentare graficamente in tutti i loro elementi (fig. 3) (25).

60. Composizione e scomposizione delle forze. — Dicesi *risultante* di due o più forze agenti contemporaneamente su di un punto materiale, la forza capace di produrre su questo punto lo stesso effetto delle forze date o *componenti.*

Comporre due o più forze, significa trovarne la risultante.

Scomporre una forza in due o più altre, significa trovare due o più forze coesistenti il di cui effetto uguagli quello della forza data.

Nella composizione delle forze si distinguono tre casi: 1.° Composizione di forze agenti secondo la stessa retta. 2.° Di forze le cui direzioni formano angolo frà loro. 3.° Di forze le cui direzioni sono fra loro parallele.

61. — 1.° Quando si tratti di due forze costanti applicate allo stesso punto ed agenti nella stessa retta è facile di stabilire i seguenti principi:

a) Se le forze sono ambedue dirette nello stesso senso *la loro risultante è uguale alla somma delle componenti ed agisce nella direzione delle componenti stesse.* Se P e Q sono le intensità delle forze ed R l'intensità della risultante, si avrà:

$$R = P + Q.$$

b) Se le forze sono dirette in sensi contrari, *la risultante è uguale alla differenza delle componenti ed agisce nel senso della maggiore di queste.*

Posto $P > Q$ sarà:

$$R = P - Q.$$

Se si ritengono positive le forze agenti in un senso e negative quelle agenti nell'opposto, si avrà in generale:

$$R = P \pm Q.$$

Vale a dire che *la risultante di due forze agenti nella stessa retta è data in grandezza e direzione della somma algebrica delle componenti.*

62. — 2.° Si consideri il caso di due forze P e Q agenti contemporaneamente sullo stesso punto materiale A, le direzioni delle quali formino angolo fra di loro.

$A\ B$ ed $A\ C$ (fig. 27) rappresentino le accelerazioni dei movimenti indotti rispettivamente delle forze P e Q nel punto A; $C\ A\ B$ sia l'angolo formato dalle direzioni dei movimenti stessi e quindi anche dalle direzioni delle forze componenti (54); $O\ D$ rappresenterà allora l'accelerazione del moto risultante (55), dovuto alla risultante R. Posta m la massa del punto materiale A, si avranno le relazioni seguenti (57):

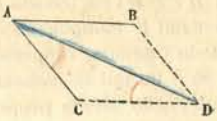


Fig. 27.

$$P = m.\ A\ B;\quad Q = m.\ A\ C;\quad R = m.\ AD$$

e quindi:

$$P : Q : R = A\ B : A\ C : A\ D.$$

Da ciò si deduce che, se $A\ B$ ed $A\ C$ rappresentassero rispettivamente le forze P e Q, la AD rappresenterebbe in grandezza e direzione la loro risultante.

La risultante, dunque, *di due forze coesistenti, agenti ad angolo sullo stesso punto, è rappresentata in grandezza e direzione dalla diagonale del parallelogrammo costruito sulle rette che rappresentano le componenti.*

Questo principio si usa di dimostrarlo sperimentalmente per mezzo dell'apparecchio di 'S Gravesende o del *tavolino delle forze* (24).

Volendo risolvere la quistione algebricamente, si ricorre a formole analoghe a quelle stabilite per la composizione dei movimenti ad angolo (55). In tal modo si ha:

(27) $$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2.\ P.\ Q.\ \cos\gamma}$$

dove γ e l'angolo formato fra loro dalle direzioni delle componenti. Se π e β sono gli angoli formati dalla risultante con ciascuna delle componenti:

(28) $$sen\ \pi = \frac{Q}{R}\ sen\ \gamma;\qquad sen\ \beta = \frac{P}{R}\ sen\ \gamma.$$

a) Se $\gamma = 90°$:

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2};\qquad sen\ \pi = \frac{Q}{R};\qquad sen\ \beta = \frac{P}{R}.$$

b) Se le due forze agissero nella stessa retta e nello stesso senso, $\gamma = 0°$, quindi:

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2\ P\ Q} = P + Q.$$

c) Se agissero nella stessa retta, ma in sensi contrari, $\gamma = 180°$, quindi:

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 - 2\ P\ Q} = P - Q.$$

Questi risultati (*c*, *b*), che già si erano trovati indietro (61), mostrano come la formola (27) sia generale pel caso di due forze agenti contemporaneamente sullo stesso punto.

63. — Per ottenere la risultante di parecchie forze coesistenti applicate ad uno stesso punto, si incomincia dal comporne due qualunque, poi la risultante di queste si compone con una terza componente, e così di seguito, finchè il sistema di forze sia sostituito da una forza unica, la quale sarà quindi la risultante del sistema stesso (fig. 28) (28).

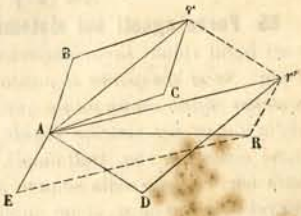


Fig. 28.

Si semplifica la ricerca della risultante di un tal sistema di forze colla costruzione detta *poligono delle forze*. A partire dal punto A di applicazione delle forze si traccia una spezzata

$A\ B\ r\ r'\ R$ i cui tronchi sono successivamente uguali e paralleli alle rette rappresentanti le componenti; la $A\ B$, tracciata tra i due estremi della spezzata in tal modo ottenuta, rappresenta la risultante del sistema.

Si è fin qui tacitamente ammesso che le direzioni delle componenti si trovino tutte nello stesso piano; quand'anche ciò non fosse, il metodo di composizione sarebbe ancora applicabile. Si osservi però che *la risultante di tre forze concorrenti dirette comunque nello spazio* (o di più forze, che sempre si potranno ridurre, colla composizione, a tre sole), *è rappresentata, in grandezza e direzione, dalla diagonale del parallelopipedo costruito sulle rette rappresentanti le tre componenti* (fig. 29). Ciò riesce chiaro se, dopo aver composte le tre forze, si tracciano tutte le rette necessarie a completare il parallelopipedo.

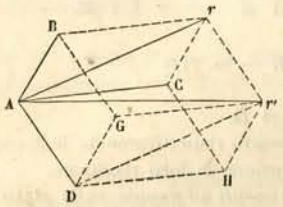


Fig. 29.

64. — *Scomposizione di una forza in due altre applicate nello stesso punto.* — Si danno tre casi:

1.° Nota la grandezza di una delle componenti e la sua direzione rispetto alla forza data, trovare la grandezza e la direzione dell'altra componente.

2.° Note le grandezze delle due componenti, trovare le direzioni di queste rispetto alla forza data.

3.° Note le direzioni delle componenti rispetto alla forza data, trovare le loro grandezze.

La risoluzione di questi tre casi si riduce alla risoluzione geometrica o trigonometrica del problema generale: Dati tre elementi di un triangolo, tra i quali almeno un lato, determinare gli altri tre elementi.

Si tratti per esempio del terzo caso:

a) Risoluzione grafica (fig. 27). Sia F la forza data, α e β gli angoli formati rispettivamente dalle componenti P e Q colla forza stessa. Si tracci $A\ D = F$, si costruisca l'angolo $D\ A\ C = \alpha$ e l'angolo $A\ D\ C = \beta$; $A\ C$ e $C\ D$ daranno rispettivamente le grandezze delle componenti P e Q. Ciò riesce evidente se si completa il parallelogrammo $A\ B\ C\ D$.

b) Risoluzione trigonometrica: Le note relazioni trigonometriche sulla risoluzione dei triangoli, danno per questo caso:

$$A\ C = A\ D\ \frac{sen\ A\ D\ C}{sen\ A\ C\ D}; \qquad C\ D = A\ D\ \frac{sen\ C\ A\ D}{sen\ A\ C\ D}$$

ossia

$$P = F\ \frac{sen\ \beta}{sen\ (\alpha + \beta)}; \qquad Q = F\ \frac{sen\ \alpha}{sen\ (\alpha + \beta)}$$

65. Forze agenti sui sistemi rigidi. — Dicesi *sistema rigido* il complesso di vari punti riuniti *invariabilmente* tra loro. È facile dimostrare il seguente principio: *Se si trasporta il punto d' applicazione di una forza, applicata ad un sistema rigido, in un punto qualunque della sua direzione, non cambia l'effetto della forza sul sistema rigido.*

Ne consegue che, trattandosi di forze agenti nella stessa retta, la loro risultante sarà ancora data dalla somma algebrica delle componenti (61), giacchè queste si potrebbero ritenere come applicate ad uno stesso punto. Se invece si tratta di due forze P e Q le cui direzioni fanno angolo fra loro (fig. 30), per trovarne la

risultante basterà prolungarne le direzioni fino al loro punto di incontro O ed immaginare applicate in questo punto le forze date: si potrà allora facilmente determinarne la risultante (R'). Se il punto O non appartiene al sistema rigido, si potrà scegliere in questo un punto di applicazione qualunque C, nella direzione della risultante R stessa.

In un modo identico si opererebbe se le due forze non agissero ambedue dalla stessa parte della retta AB dei loro punti di applicazione.

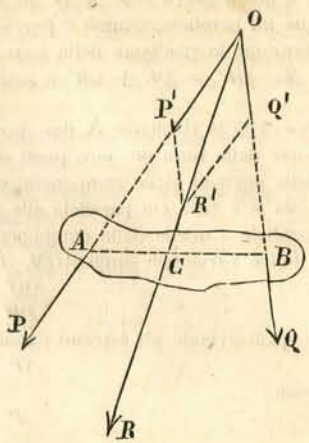


Fig. 30.

66. Composizione di due forze parallele. — Se le forze date sono parallele fra loro, non si potrà, per comporle, ricorrere immediatamente al precedente artificio e converrà dapprima sostituire al sistema delle forze parellele un sistema *equivalente* di forze concorrenti.

A tale scopo si scompongano le forze date P e Q (fig. 31), ciascuna in due altre, in modo che le componenti S e T dell'una e dell'altra, sieno uguali di intensità, opposte in direzione ed agenti nella retta $A\,B$ dei punti di applicazione delle forze date. Il sistema delle quattro forze P', Q', S, T è equivalente a quello dato delle forze parallele; ma le forze S e T si fanno equilibrio; il sistema delle forze parallele P e Q date può dunque essere sostituito da quello delle forze concorrenti P', Q' delle quali è quindi facile di determinare graficamente la risultante (65).

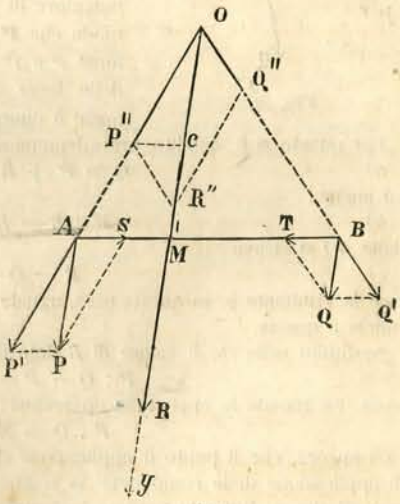


Fig. 31.

La risultante di due forze parallele ha colle sue componenti relazioni di grandezza e posizione importanti a conoscersi.

Sia O il punto d'incontro delle direzioni delle forze P' e Q'; P'' e Q'' rappresentino le stesse forze applicate in O. Traccisi la indefinita Oy parallella alle componenti date; la $P''\,R''$ parallela alla $O\,Q'$ e la $P''\,C$ parallela alla $A\,B$. I triangoli $P'\,A\,P$, $P''\,O\,C$ sono uguali e danno:

a) $OC = AP = P$, ed anche: $P''C = P'P = AS = TB$; ma allora i triangoli $QQ'B$, $P''CR''$ sono pure uguali e danno:

b)
$$CR'' = BQ = Q$$
$$P''R'' = BQ' = OQ$$

Il quadrilatero $O\ P''\ R''\ Q''$ ha quindi due lati opposti uguali e paralleli, è dunque un parallelogrammo e perciò la sua diagonale OR'' rappresenta in grandezza e direzione la risultante delle forze P' e Q' e quindi delle forze parallele date P e Q.

Ma: $OR'' = OC + CR''$ e sostituendo i valori trovati *(a)* e *(b)*:

$$R = P + Q$$

cioè, che la risultante di due forze parallele, agenti entrambe dalla medesima parte della retta dei loro punti di applicazione, è di intensità uguale alla somma delle intensità delle componenti ed agisce dalla parte stessa di queste.

Ma si è fatta Oy parallela alle forze date; la direzione della risultante è dunque parallela a quelle delle componenti.

Infine i triangoli simili AOM, $AP'P$; BOM, $BQ'Q$ forniscono le relazioni:

$$QQ' : BQ = BM : OM$$
$$PP' : AP = AM : OM$$

le quali avendo gli estremi eguali, danno:

$$AP : BQ = MB : MA$$

ossia:

$$P : Q = MB : MA$$

cioè, che la direzione della risultante divide la BA in parti inversamente proporzionali alle intensità delle forze date.

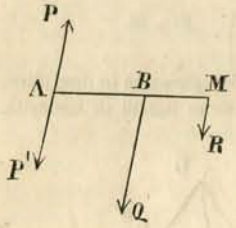


Fig. 32.

67. — Se le due forze parallele date agiscono una da una parte, l'altra dall'altra della retta che unisce i loro punti di applicazione (fig. 32), si scomponga la maggiore di esse Q in due forze parallele P' ed R, in modo che P' sia uguale a P ed applicata in A. Le forze P e P' si elidono, quindi, a produrre l'effetto delle forze date P e Q, non rimane che la R, la quale è dunque la loro risultante.

Per quanto si è stabilito precedentemente (66):

a) $$Q = P' + R = P + R$$

ed anche:

b) $$P' : R = BM : AB$$

dalle *(a)* si ricava

c) $$R = Q - P$$

cioè la risultante è, in questo caso, uguale alla differenza delle componenti e parallele a queste.

Sostituito nella *(b)* il valore di R dato dalla *(c)* si ottiene:

$$P : Q - P = MB : AB$$

ossia, eseguendo le opportune operazioni:

$$P : Q = MB : MA$$

cioè ancora, che il punto d'applicazione della risultante divide la retta dei punti di applicazione delle componenti in segmenti inversamente proporzionali alle componenti stesse. Ritenute positive le forze che agiscono in un senso e negative quelle che agiscono nell'altro, rispetto alla retta dei punti di applicazione delle componenti, si potranno in generale riassumere nei seguenti enunciati i principi risguardanti la composizione di due forze parallele:

La risultante di due forze parallele:

1.° *È uguale in intensità alla somma algebrica delle intensità delle componenti.*

2.° *La sua direzione è parallela a quella delle componenti, ed agisce nel senso indicato dal segno da cui riesce affetta.*

3.° *La sua direzione divide la retta che unisce i punti di applicazione delle componenti, in segmenti inversamente proporzionali all' intensità delle componenti stesse.*

Questi principi si possono dimostrare sperimentalmente coll' apparecchio mostrato dalla figura 10.

68. Coppia di forze parallele. — Quando le due forze parallele sono uguali e di senso contrario, il sistema non ammette risultante ed ha per effetto di far ruotare il mobile, fino a che le direzioni delle due forze, vengano a trovarsi nella stessa retta. Ad un tal sistema si dà il nome di *coppia di forze parallele* (30).

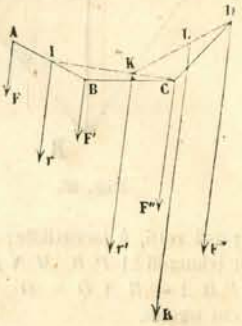


Fig. 33.

69. — Se ad un sistema rigido sono applicate diverse forze paralelle, (fig. 33) *la loro risultante è di intensità uguale alla somma algebrica delle intensità delle componenti ed agisce parallelamente a queste; il suo punto di applicazione non cambia di posizione al cambiare della direzione delle componenti, purchè queste, non cambiando di intensità, si mantengano sempre parallele fra di loro* (31). Per tale proprietà, il punto di applicazione della risultante di più forze parallele, dicesi *centro delle forze parallele.*

70. Equilibrio. — Quando diverse forze agiscono sopra un corpo pienamente libero di muoversi, il quale, ciò non ostante, non subisce alcun movimento, se in quiete, o non risente alcun cambiamento nel moto posseduto, se è in moto, dicesi che le forze stesse si fanno *equilibrio. Perchè diverse forze coesistenti si facciano equilibrio, basta che una qualunque di esse sia uguale e contraria alla risultante delle altre.*

Quella parte della meccanica che tratta dell'equilibrio dicesi *statica*, quella che tratta del movimento *dinamica.*

71. Momento di una forza rispetto ad un punto. — Quando una forza F è applicata ad un punto materiale A (fig. 34) capace solamente di moto di rotazione intorno ad un punto O, l'effetto della forza stessa, non dipende solamente dalla sua intensità, ma ben anche dalla distanza $O\ M$ del punto O dalla direzione della forza, e, precisamente, riesce proporzionale alla distanza stessa. Al prodotto $F \times O\ M$ dell' intensità della forza per la distanza del punto O dalla direzione della forza stessa, prodotto il quale misura l'efficacia della forza nella rotazione, si dà il nome di *momento della forza F, rispetto al punto O.* Se la direzione della forza passa per O, la distanza $O\ M$ è nulla ed il momento della forza è $= 0$; la forza in questo caso non è dunque capace di produrre sul corpo alcun effetto di rotazione.

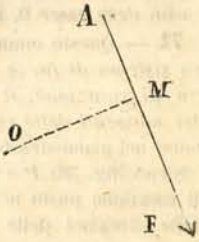


Fig. 34.

Da ciò consegue facilmente il fatto che, *perchè due forze, applicate allo stesso*

punto, ed agenti in un piano contenente il centro di rotazione, si facciano equilibrio, è necessario che il momento della risultante sia 0.

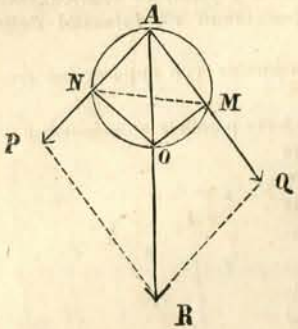


Fig. 35.

1.° Se le due forze agiscono nella stessa retta, il momento della loro risultante può esser 0, sia nel caso che le due forze, essendo uguali e di direzione contraria, dieno una risultante 0, sia nel caso che la direzione delle forze, e quindi quella della risultante, passi pel centro di rotazione.

2.° Si consideri il caso di due forze coesistenti P e Q, tendenti a produrre rotazione in sensi contrari, applicate in A (fig. 35), le di cui direzioni formino angolo fra di loro: perchè queste forze si facciano equilibrio, la direzione della loro risultante R deve passare pel centro di rotazione O. $O\ M$ ed $O\ N$ sono le rispettive distanze del punto O dalla direzione delle forze P e Q; il quadrilatero $A\ N\ O\ M$, avendo due angoli opposti retti, è iscrittibile: circoscritto il cerchio al quadrilatero, si tracci la $N\ M$; i triangoli $A\ P\ R$, $M\ N\ O$ sono simili, avendo gli angoli $P\ A\ R = N\ M\ O$ e $P\ R\ A = R\ A\ Q = O\ N\ M$, perchè rispettivamente misurati dalla metà di archi uguali.

Dalla simiglianza si ricava:

$$AP : PR = OM : ON$$

ossia:

$$P : Q = OM : ON$$

da cui:

$$P \,.\, ON = Q \,.\, OM.$$

Perchè dunque vi sia equilibrio, i momenti delle componenti devono essere uguali.

Dalla precedente relazione si deduce anche:

$$P \,.\, ON - Q \,.\, OM = 0.$$

In altri termini si può dire dunque che, *perchè vi sia equilibrio, la somma algebrica dei momenti delle componenti* (quando si ritengano per positivi i momenti della rotazione in un senso e negativi quelli della rotazione nel senso opposto) *deve esser* 0, come il momento della risultante.

72. — Questo enunciato è un caso particolare dell'enunciato generale che: *In un sistema di forze concorrenti, poste in uno stesso piano, contenente il centro di rotazione, il momento della risultante è uguale alla somma algebrica dei momenti delle componenti*, qualunque sia la posizione del centro di rotazione nel piano stesso.

Sieno (fig. 36) P e Q due forze applicate in A; R la loro risultante, O il centro di rotazione posto nel loro piano; OS, OM, ON le distanze rispettive del punto O dalle direzioni delle forze R, P, Q. Si tracci la AO e la indefinita xy ad essa perpendicolare. Si scompongano le forze R, P, Q ciascuna in due componenti, l'una diretta secondo xy, l'altra secondo AO, e sieno R', P', Q' le rispettive componenti secondo la xy; R'', P'', Q'' quelle secondo la AO. Al sistema delle tre forze R, P, Q, si potrà allora sostituire il sistema delle sei forze R', R''; P', P''; Q', Q''. Ma le componenti R'', P'', Q'', la cui direzione passa pel centro di rotazione, non hanno alcuna efficacia nella rotazione, essendo 0 il loro momento (70).

Si potrà dunque sostituire il sistema delle forze R, P, Q col sistema delle forze R', P', Q' a quello equivalente nella rotazione. Per semplicità di notazione si pongano: $OS = s$, $OM = m$, $ON = n$ ed $AO = a$. Dall'ispezione della figura risulta:

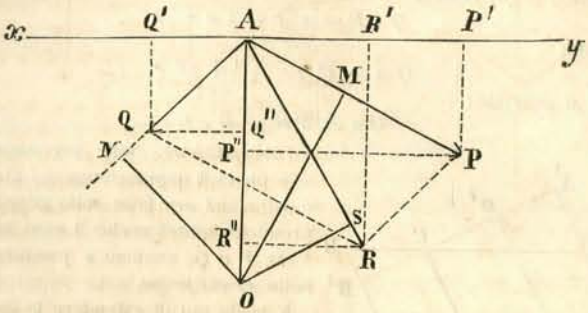


Fig. 36.

$$(a) \qquad R' = R \cos RAR'$$

e dal triangolo rettangolo AOS

$$s = a \cos AOS \qquad \text{ossia} \qquad s = a \cos RAR'$$

dalla quale:

$$\cos RAR' = \frac{s}{a}$$

valore che sostituito nella (a) dà:

$$R' = \frac{R\,s}{a}.$$

In modo identico si trovano:

$$P' = \frac{P\,.\,m}{a} \quad ; \quad Q' = \frac{Q\,.\,n}{a}.$$

Ma R' è la risultante di P' e Q', per cui:

$$R' = P' \pm Q'$$

sostituiti in questa i rispettivi valori sopra trovati, si ricava:

$$\frac{R\,s}{a} = \frac{P\,m}{a} \pm \frac{Q\,n}{a}$$

ossia:

$$R\,.\,s = P\,m \pm Q\,.\,n$$

relazione che corrisponde all'enunciato dei momenti sopra esposto.

3.° L'enunciato sui momenti si può estendere anche al caso delle forze parallele. Sieno P e Q (fig. 37) due forze parallele, tendenti a produrre rotazione in sensi contrari; R la loro risultante, O il centro di rotazione, posto nel piano delle forze. Si pongano, per semplicità, $OS = s$, $OM = m$, $ON = n$ le distanze rispettive del punto O dalle direzioni delle forze R, P, Q. Pel punto C si tracci la $A'\,B'$ parallela alla MN e dal punto O la $O\,O'$ parallela alla direzione delle forze date. I triangoli simili $A\,C\,A'$, $B\,C\,B'$ danno:

$$C\,A : C\,B = C\,A' : C\,B'$$

ossia:

$$C\,A : C\,B = C\,O' + O'\,A' : O'\,B' - O'\,C$$

vale a dire:

(a) $$CA : CB = s + m : n -$$

ma d'altra parte (67):

(b) $$CA : CB = Q : P;$$

confrontando la (a) colla (b) si ottiene:

$$Q : P = s + m : n - s$$

dalla quale:

$$Q\,n - P\,m = (P + Q)\,s$$

e quindi in generale:

$$Q\,n \pm P\,m = R\,.\,s.$$

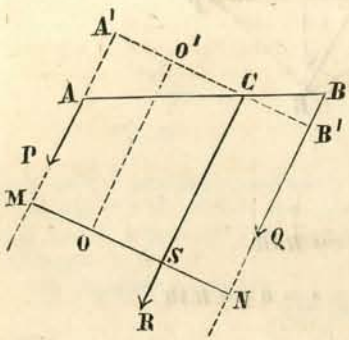


Fig. 37.

Osservazione. Nelle precedenti relazioni si è posto il doppio sengo ±, giacchè le dimostrazioni ora fatte sono generali e comprendono quindi anche il caso in cui le due forze P e Q, tendano a produrre rotazione nello stesso senso.

È facile poi di estendere la dimostrazione stessa al caso in cui le componenti sieno più di due; come è necessario per generalizzare l'enunciato.

Riassumendo si può dunque dire, che l'enunciato sui momenti delle forze poste in piano contenente il centro di rotazione, è generale, qualunque sia la posizione, la direzione ed il numero delle componenti.

73. Forza centrifuga. — Quando un punto materiale M (fig. 38) è obbligato a girare intorno ad un centro O, tende continuamente, per inerzia, ad allontanarsi dal centro stesso, secondo una direzione tangente alla circonferenza da esso descritta. La forza che impedisce al punto di allontanarsi dal centro, dicesi *forza centripeta;* lo sforzo, a questa uguale e contrario, col quale il punto tende ad allontanarsi dal centro, dicesi *forza centrifuga* (36 e 37).

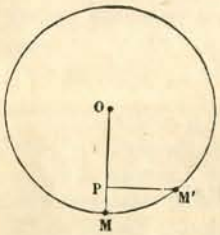


Fig. 38.

Sia m la massa del punto materiale M, e si supponga che questo giri di moto uniforme intorno all'asse O, descrivendo una circonferenza di raggio r, colla velocità v.

Sia t il tempo impiegato dal punto materiale a percorrere un'arco MM', abbastanza piccolo da poterlo confondere, senza errore sensibile, colla sua corda. Tracciato il diametro passante per M e dal punto M' la perpendicolare ad esso $M'P$, si può, per la condizione sopra ammessa, ritenere che:

(a) $$M\,M'^2 = 2\,r\,.\,M\,P$$

Ma $M\,P$ non è che la quantita di cui il punto materiale M si avvicina all'asse nel tempo t sotto l'azione della forza centripeta (potendosi il moto circolare ritenere come prodotto della risultante di un'impulso iniziale comunicato al punto M, colla forza centripeda). Ma questa essendo costante, lo spazio MP sarà percorso con moto uniformemente accelerato, e si avrà dunque $MP = {}^1/_2\,a\,t^2$, se a è l'accelerazione dovuta alla forza centripeda. Lo spazio MM', essendo percorso con moto uniforme, sarà: $MM' = v\,t$.

Sostituiti nella (a) i valori di $M\,P$ e di $M\,M'$, si ha:

$$v^2\,t^2 = 2\,r\,.\,{}^1/_2\,a\,t^2,$$

da cui:

$$(b) \qquad a = \frac{v^2}{r}$$

Se F è l'intensità della forza centripeta, o della centrifuga, che le è uguale, sarà:

$$F = m\,a,$$

dove, sostituito ad a il suo valore dato dalla (b):

$$(c) \qquad F = \frac{m\,v^2}{r}$$

relazione dalla quale si deducono le seguenti leggi (58):

A parità delle altre altre condizioni, *la forza centrifuga*:

1.° *È proporzionale alla massa del punto materiale.*

2.° *È proporzionale al quadrato della velocità colla quale il punto si muove.*

3.° *È inversamente proporzionale al raggio della circonferenza descritta dal punto stesso.*

Posto T il tempo impiegato dal punto materiale a descrivere l'intiera circonferenza, si ha: $v = \frac{2\,\pi\,r}{T}$, e quindi $v^2 = \frac{4\,\pi^2\,r^2}{T^2}$. Sostituito questo valore nella (c), si ha:

$$(d) \qquad F = m\,\frac{4\,\pi^2\,r}{T^2}$$

Per un altro punto, supposto pure di massa m, il quale nel tempo T percorra la circonferenza di raggio r', si avrebbe:

$$(e) \qquad F' = m\,\frac{4\,\pi^2\,r'}{T^2}\,;$$

dal confronto della (d) colla (e), si ricava:

$$\frac{F}{F'} = \frac{r}{r'}$$

Cioè, che, a parità di massa, *la forza centrifuga di punti animati dalla medesima velocità angolare, è proporzionale al raggio della circonferenza da essi descritta.* (Trattandosi dei diversi punti di uno stesso corpo che gira sopra sè stesso, la forza centrifuga è dunque proporzionale alle distanze dei punti stessi dall'asse (58)).

74. Lavoro di una forza. Potenza e Resistenza. — (55) Ad una forza in equilibrio non corrisponde alcun *effetto meccanico*. Quando invece una forza sposta direttamente un punto materiale, il quale *reagisca* con uno sforzo uguale e contrario alla forza stessa, questa produce un effetto meccanico detto *lavoro*. La forza prende generalmente il nome di *potenza*, la reazione, a quella uguale e contraria, quello di *resistenza*.

Quando, ad esempio, si solleva direttamente un corpo ad una data altezza, si eseguisce un lavoro; lo sforzo continuo che si esercita a tale scopo è la *potenza*, evidentemente, in questo caso, uguale e contraria al peso del corpo, o *resistenza* presentata dal corpo stesso al sollevamento.

Qualunque siasi la natura del lavoro eseguito da una forza, esso può sempre paragonarsi al lavoro di sollevare un dato peso ad una data altezza. Ciò riesce chiaro ricordandosi come si misuri l'intensità delle forze (25 e 54).

Qualunque lavoro è proporzionale all'intensità della forza agente (che

sempre riterremo costante) *ed allo spazio da essa fatto descrivere al suo punto di applicazione nella sua direzione stessa.*

Infatti: 1.° Nel sollevare, per esempio, un peso di 2 chilogrammi all'altezza di 1 metro, si eseguisce un lavoro doppio di quello necessario a sollevare 1 chilogrammo alla stessa altezza. Ciò riesce evidente se si suppone il peso di 2 chilogrammi diviso in due parti del peso di 1 chilogrammo ciascuna, le quali vengano successivamente sollevate all'altezza di 1 metro. 2.° Sollevare un peso qualunque all'altezza, per esempio, di 2 metri è evidentemente pure lavoro doppio di quello che si eseguisce per sollevare lo stesso peso all'altezza di 1 metro.

Ciò posto, sieno F l'intensità della forza, S lo spazio eseguito dal punto di applicazione della forza nella direzione di questa; il lavoro L sarà, in generale, espresso da:

(29) $$L = F\,S$$

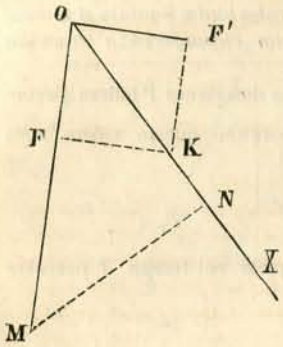


Fig. 39.

Si è convenuto di assumere per unità di misura del lavoro, il lavoro necessario a sollevare il peso di 1 chilogrammo all'altezza di 1 metro: a questa unità si è dato il nome di *chilogrammetro.*

75. — Se il movimento accade secondo $O\,M$ (fig. 39), cioè non può aver luogo nella direzione della forza K, si scomponga questa in due componenti, una F agente nel senso in cui può accadere il movimento, l'altra F' a quella perpendicolare, che vien quindi eliminata dalle resistenze. La sola componente F è dunque quella che produce lavoro e si potrà dire: *che il lavoro,* in questo caso, *è dato dal prodotto della intensità della componente F, per lo spazio O M descritto dal punto O di applicazione della forza.* Si avrà dunque:

$$L = F \times O\,M$$

Più spesso si dice, che *il lavoro è misurato dal prodotto dell'intensità della forza data, per la projezione dello spazio descritto dal suo punto di applicazione sulla direzione della forza stessa.* Questo enunciato equivale al precedente: infatti si tracci la $M\,N$ perpendicolare ad OK: i triangoli simili $O\,K\,F$, $M\,O\,N$ danno:

$$O\,F : O\,K = O\,N \,.\, O\,M$$

da cui:

$$O\,F \,.\, O\,M = O\,K \,.\, O\,N$$

ossia

$$F \,.\, O\,M = K \,.\, O\,N$$

ciò che appunto conveniva di dimostrare.

76. Cavallo vapore. — Il concetto di lavoro non contiene quello del tempo in cui esso vien compiuto; epperò si capisce che un dato lavoro verrà eseguito in un tempo tanto minore, quanto più grande è l'intensità della forza impiegata. Se dunque si confronteranno i lavori eseguiti da diverse forze in uno stesso tempo, per esempio in 1″, questi lavori potranno servire di misura alle intensità delle forze stesse. Si è perciò stabilita l'unità di effetto dinamico detta *cavallo vapore,* corrispondente di 75 *chilogrammetri al minuto secondo.* Quando, impropriamente, si dice che una macchina ha la forza, per esempio, di 30 cavalli vapore, si intende di dire che l'effetto dinamico di quella forza è di $75 \times 30 = 2250$ chilogrammetri per ogni minuto secondo (33).

77. Forza viva. — Si voglia calcolare il lavoro necessario a far passare un corpo dalla quiete alla velocità V, fatta astrazione, come sempre, dalle resistenze passive. Sia S lo spazio che la forza costante F deve far percorrere al corpo per comunicargli la velocità V; il lavoro L sarà:

$$(a) \qquad L = F \,.\, S$$

Ma, posta m la massa del corpo ed a l'accelerazione in essa indotta dalla forza costante F, si ha:

$$F = m \,.\, a \text{ e, d'altra parte, } S = \frac{V^2}{2\,a}$$

Sostituiti questi valori nella (a) si ottiene:

$$(30) \qquad L = \frac{m\,V^2}{2}$$

Dunque, *il lavoro necessario a comunicare alla massa* m *la velocità* V, *è uguale alla metà del prodotto della massa stessa pel quadrato della velocità.*

Se P è il peso del corpo di massa m, e g l'accelerazione dei gravi: $m = \frac{P}{g}$ (38), valore che sostituito nella (30) dà:

$$(31) \qquad L = \frac{P \,.\, V^2}{2\,g}$$

che fornisce il lavoro stesso in funzione del peso del corpo.

Dalla (30) risulta, che *il lavoro necessario a comunicare ad un corpo una certa velocità, è proporzionale alla massa del corpo ed al quadrato della velocità.*

L'inerzia è la causa del consumo di lavoro necessario a far acquistare una certa velocità ad un corpo in quiete o ad accrescere in esso una velocità preesistente; ne consegue che, per l'inerzia stessa, un corpo in moto, sottoposto ad una azione ritardatrice, è capace di vincerla percorrendo un certo spazio; è cioè capace di eseguire un certo lavoro. Ciò spiega l'azione dei magli, dei projettili, dei volanti delle macchine, ecc., ecc.

Le formole (30) e (31) danno perciò anche il lavoro che può eseguire un corpo di massa m o di peso P animato dalla velocità V, prima di arrestarsi in causa di una costante resistenza o forza ritardatrice.

Al prodotto $m\,V^2$ della massa del corpo pel quadrato della velocità da esso posseduta, si dà il nome di *forza viva.* Si può dunque dire *che un corpo in moto è capace, prima di fermarsi, di sviluppare un lavoro misurato dalla metà della sua forza viva.*

Esempio: Una palla da cannone del peso di 12 chilogrammi è animata dalla velocità di 780 metri: qual lavoro, teoricamente, è capace di produrre la palla prima di fermarsi?

Sapendo che $g = 9{,}81$ la (31) dà:

$$L = \frac{12.\ 780^2}{2.\ 9{,}81} = 372\ 110\ kmg$$

Un ugual lavoro viene eseguito dalla forza esplosiva della polvere per comunicare alla palla la velocità di 780 metri. Si voglia conoscere lo sforzo a cui la palla fu sottoposta durante il tempo che percorse la canna del pezzo, supposta questa della lunghezza di 2 metri.

Dalla (29) si ha:

$$372\ 110 = F. \times 2$$

da cui

$$F = 186055 \text{ chilogrammi.}$$

CAPITOLO VI.

Macchine semplici.

78. — Raramente in pratica si impiega direttamente una forza *(potenza o forza motrice)* ad eseguire il lavoro di vincere una certa resistenza; ordinariamente, tra il punto di applicazione della *potenza* e quello della *resistenza*, si pone una serie di organi atti a modificare la forma del movimento o la relazione tra gli elementi del lavoro. Ad un tale insieme di organi si dà il nome di *macchine*. Per quanto complicate sieno le macchine, esse si riducono, in essenza, alla combinazione di certi *organi meccanici* detti *macchine semplici od elementari*.

Quando dunque si conosca il rapporto che passa tra la potenza e la resistenza in ciascuna di queste macchine semplici, si potrà poi facilmente stabilire il rapporto tra la potenza e la resistenza applicate ad una *macchina composta*.

Le macchine semplici sono sei:

1. La leva.
2. La carrucola o puleggia.
3. Il tornio od asse nella ruota.
4. Il piano inclinato.
5. La vite.
6. Il cuneo.

le quali però, a rigore, si riducono a due soli tipi; la leva ed il piano inclinato.

1.° *La leva.*

79. — Dicesi *leva* un corpo rigido (fig. 40) il quale può girare intorno ad un punto fisso C detto *fulcro*, e sul qual corpo operano due forze P ed R tendenti a farlo girare in sensi opposti; una di queste forze è, generalmente, una *resistenza* da vincersi o da equilibrare, l'altra la *potenza* o forza a ciò necessaria.

A seconda che il punto di appoggio ed i punti di applicazione delle forze sono, o non, in linea retta, la leva dicesi rettilinea (fig. 41) od angolare (fig. 42). A seconda poi delle posizioni rispettive dei punti stessi, si distinguono tre generi di leva.

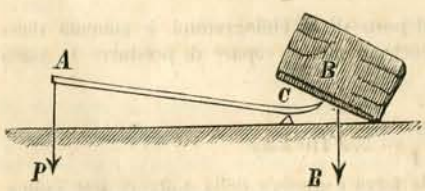


Fig. 40.

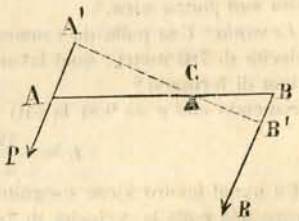


Fig. 41.

1. La leva dicesi di *primo genere* quando il fulcro si trova tra i punti di applicazione della potenza e della resistenza. (fig. 40, 41 e 42).

2. Dicesi di *secondo genere*, quando il punto d'applicazione della resistenza si trova tra il fulcro ed il punto di applicazione della potenza. (fig. 43)

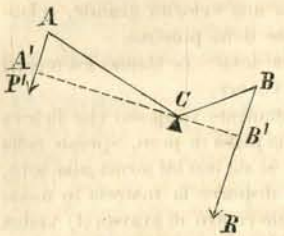


Fig. 42.

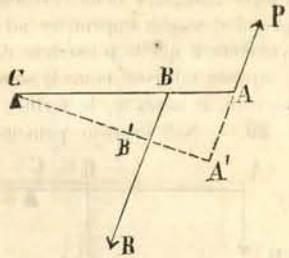


Fig. 43.

3. Dicesi infine di *terzo genere*, quando il punto di applicazione della potenza si trova tra il fulcro ed il punto di applicazione della resistenza (fig. 44).

Osservazione. In tutte le figure riguardanti la leva, si son tenute le seguenti notazioni: ABC è la leva, P la potenza, R la resistenza, A e B i loro rispettivi punti di applicazione, C il fulcro.

La leva sarà in equilibrio quando la direzione della risultante della potenza e della resistenza, passerà pel fulcro (71); ma allora, CA', CB' (fig. 45) essendo le

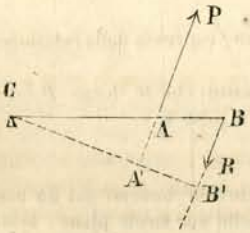


Fig. 44.

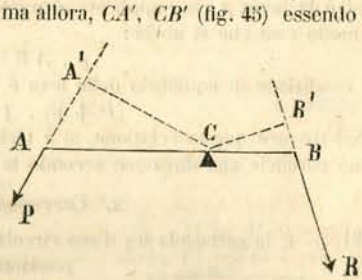


Fig. 45.

distanze del fulcro stesso delle direzioni delle forze, la condizione di equilibrio è espressa da:

$$P.\ CA' = R.\ CB'$$

Cioè *che i momenti della potenza e della resistenza sieno uguali.*

La relazione precedente fornisce l'altra:

$$P : R = CB' : CA'$$

CA' e CB' diconsi *braccia di leva* della potenza e della resistenza; ciò posto, la condizione di equilibrio della leva, qualunque ne sia il genere, si esprime ordinariamente nel seguente modo: *nella leva, la potenza sta alla resistenza, in ragione inversa dei rispettivi bracci di leva.*

Nel caso in cui le due orze fossero parallele, i triangoli $AA'C$, $BB'C$ (fig. 41, 42, 43, 44) sono simili e danno:

$$AC' : CB' = CA : CB$$

relazione che, confrontata colla precedente, dà:

$$P : R = CB : CA$$

In questo caso si potranno dunque sostituire ai bracci di leva le distanze tra il fulcro ed i punti di applicazione della potenza e della resistenza.

Nelle leve di 1° e 2° genere si può, con una piccola potenza, equilibrare o smuovere una gran resistenza: nella leva di 3° genere, invece, la potenza deve sempre essere maggiore della resistenza; di qui l'uso di questo genere di leva nei casi in cui si voglia imprimere ad una piccola resistenza una velocità grande, relativamente a quella posseduta dal punto di applicazione della potenza.

Spesse ed assai comuni sono le applicazioni della leva: ne danno esempio i picconi, le tanaglie, le forbici, i remi, le carriole ecc., ecc.

80. — Nell'esposto principio sulla leva si è tacitamente supposto che la leva stessa sia priva di peso. Spesso, nella pratica, si dà una tal forma alla leva, così da disporre la materia in modo che il suo centro di gravità (1) venga a coincidere col fulcro. Con tal disposizione si può, senz'altra considerazione, applicare alla leva materiale il principio sopra stabilito. In caso diverso, sia K il peso della leva applicato al centro di gravità G di questa (fig. 46), la condizione di equilibrio è allora:

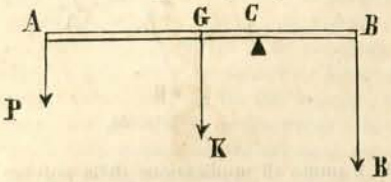


Fig. 46.

$$P \,.\, CA + K \,.\, CG = R \,.\, CB$$

In pratica si usa di *ridurre* il peso K al punto A, od, in altri termini, di trovare qual'è la forza p che, applicata al punto A equivalga al peso K applicato in G, in modo cioè che si abbia:

$$p \,.\, AC = K \,.\, GC$$

La condizione di equilibrio della leva è, in questo caso, espressa dalla relazione:

$$(P + p) \,.\, AC = R \,.\, CB$$

Nel trovare questa relazione, si è tacitamente supposto che le forze P ed R sieno parallele alla direzione secondo la quale agisce il peso K.

2.° *Carrucola o Puleggia.*

81. — È la carrucola un disco circolare rigido, girevole intorno ad un asse passante pei centri delle sue faccie piane: la sua superfice convessa presenta una scanalatura o *gola*, destinata a ricevere una fune, agli estremi della quale sono applicate la potenza e la resistenza: l'asse della carrucola è sostenuto da un' armatura, detta *staffa* (fig. 47).

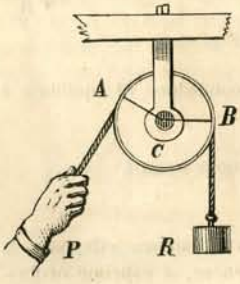


Fig. 47.

Si distinguono due speci di carrucole, la *carrucola fissa* e la *carrucola mobile*.

82. 1. Carrucola o puleggia fissa. — Dicesi quella in cui l'asse di rotazione è tenuto fisso per mezzo della staffa, cosichè la carrucola stessa non può muoversi che di rotazione. — La carrucola fissa si riduce ad una leva di primo genere a braccia uguali ABC (fig. 47); l'equilibrio avrà dunque luogo quando:

$$P = R$$

Questa macchina non dà alcun guadagno di forza, anzi, quando si tratti di tra-

(1) Punto di un corpo al quale, applicata una forza uguale e contraria al peso del corpo, questo rimane in equilibrio in qualunque posizione e cosicchè si può ritenerlo come non pesante.

smettere movimento, la potenza dovrà, non solo uguagliare la resistenza, ma ben anche vincere le resistenze passive (attrito, rigidezza delle funi). Ciò non ostante la carrucola fissa è spesso usata, come quella che permette di trasmettere una forza in qualsivoglia direzione (puleggie di rinvio).

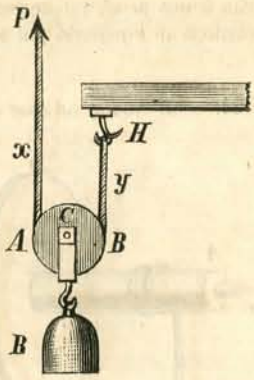


Fig. 48.

83. Carrucola o puleggia mobile. — È quella che, non solo può girare intorno al proprio asse, ma ben anche trasportarsi insieme al suo carico, portato dalla staffa. La carrucola mobile (fig. 48) è sostenuta da una fune della quale, un capo è solidamente attaccato ad un punto fisso, e l'altro riceve l'applicazione della potenza.

La carrucola mobile può risguardarsi come una leva di secondo genere $A\ C\ B$, girevole intorno al punto B.

Nel caso che i tratti di fune sieno paralleli si avrà dunque:

$$P : R = BC : BA$$

ossia:

$$P : R = 1 : 2$$

da cui:

$$P = \tfrac{1}{2} R$$

Cioè che, in questo caso, *la potenza è metà della resistenza.*

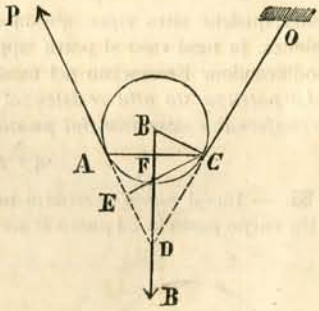


Fig. 49.

Se i tratti di fune non sono paralleli, il vantaggio della macchina è minore. In fatti (fig. 49), la fune essendo ugualmente tesa in tutte le sue parti, i due tratti AP, CO esercitano sforzi uguali nel sostenere la resistenza. La risultante di tali sforzi è poi evidentemente uguale e contraria alla resistenza stessa, e la sua direzione divide per metà l'angolo PDO, formato dalle direzioni dei tratti di fune, e la corda AC tracciata tra i punti di tangenza dei tratti stessi colla carrucola.

La condizione di equilibrio della macchina esige che i momenti di rotazione della potenza e della resistenza sieno uguali, quindi, osservando che C è il centro di rotazione,

$$P \,.\, CE = R \,.\, CF$$

ossia:

$$P : R = CF : CE$$

I due triangoli simili ACE, BFC, danno:

$$CF : CE = CB : CA$$

quindi, confrontando le due ultime proporzioni:

$$P : R = CB : CA$$

Cioè, in generale, la condizione d'equilibrio della carrucola mobile è che: *la potenza sta alla resistenza, come il raggio della carrucola sta alla corda dell'arco abbracciato dalla fune.* Se i tratti di fune sono paralleli, l'arco abbrac-

ciato è una semicirconferenza, la di cui corda è il diametro; si ottiene dunque la relazione di equilibrio più sopra stabilita per questo caso particolare.

3.° *Il Tornio.*

84. — *Il tornio od asse nella ruota* è formato da un cilindro rigido $A\,B$ (fig. 50), girevole intorno al proprio asse ed infisso in una ruota, in modo che l'asse del cilindro stesso passi pel centro della ruota e sia perpendicolare alle faccie piane di questa. La resistenza è applicata alla superfice convessa del cilindro od asse, per mezzo di una fune; la potenza è applicata tangenzialmente alla ruota.

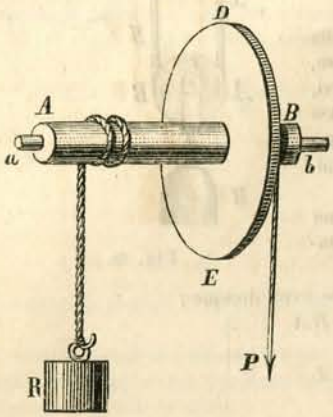


Fig. 50.

Il tornio agisce evidentemente come una leva di 1° genere $A\,C\,B$ (fig. 51): per cui, posto $A\,C = D$ e $B\,C = d$, la condizione di equilibrio di questa macchina è espressa da:

$$P : R = d : D$$

Cioè, che *la potenza sta alla resistenza, come il raggio dell'asse sta al raggio della ruota.*

Questa macchina può ricevere svariatissime disposizioni; qualche volta, come nell'argano, porta dei manubri in luogo della ruota; qualche altra volta, questa è sostituita da manovelle sulle quali agisce la potenza. In ogni caso si potrà applicare la precedente condizione di equilibrio, modificandone l'enunciato nel modo seguente:

La potenza sta alla resistenza, come il raggio dell'asse sta al raggio della circonferenza descritta dal punto di applicazione della potenza.

4.° *Piano inclinato.*

85. — Dicesi *piano inclinato* un piano resistente facente angolo coll'orizzonte. Un corpo posto in un punto O su di un piano inclinato $M\,N$ (fig. 52), scende per

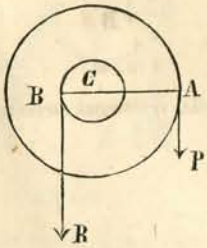


Fig. 51.

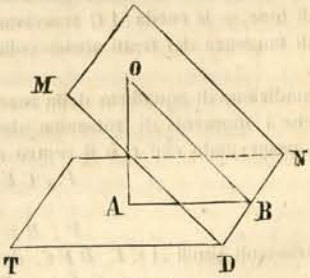


Fig. 52.

la via più breve, segue cioè la perpendicolare $O\,B$ condotta dal punto O alla comune sezione $N\,D$, del piano inclinato stesso con un piano orizzontale $N\,T$. Tra le rette condotte da O alla $N\,D$, la $O\,B$ è quella che forma col piano orizzontale il maggior angolo; si dice perciò che *un corpo, posto su di un piano inclinato, scende secondo la linea di maggior pendenza.*

Nello studio delle leggi del piano inclinato, questo si rappresenta con un triangolo rettangolo OBA in cui OB è la linea di maggior pendenza e dicesi *lunghezza* del piano inclinato; OA ne è l'*altezza* ed AB la *base*.

Sia un piano inclinato ABC ed un corpo O posto su di esso (fig. 53): questo corpo tende a discendere sotto l'azione del proprio peso R, applicato al suo centro di gravità G.

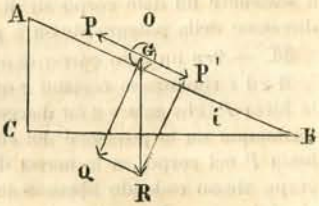


Fig. 53.

86. — 1.° Si voglia stabilire la grandezza della potenza P che, diretta parallelamente al piano inclinato, sia capace di mantenere in equilibrio il corpo sul piano stesso.

Si scomponga perciò la R in due componenti, una Q perpendicolare al piano inclinato, e quindi eliminata dalla resistenza di questo, l'altra P' parallela al piano, che da sola produce la discesa del corpo. Evidentemente, onde il corpo rimanga in equilibrio, si dovrà fare $P = P'$.

a) I triangoli simili $GP'R$, ABC danno:

$$GP' : GR = AC : AB$$

ossia:

$$P : R = AC : AB$$

Cioè, in questo caso, la condizione di equilibrio è che *la potenza deve stare alla resistenza, come l'altezza del piano inclinato sta alla sua lunghezza.*

b) Se i è la misura dell'*angolo di inclinazione* del piano inclinato, dal triangolo rettangolo $OP'R$ si ha:

$$GP' = GR \operatorname{sen} i$$

ossia:

$$P = R \operatorname{sen} i$$

Cioè che, in questo caso, *la potenza è uguale alla resistenza moltiplicata pel seno dell'angolo d'inclinazione del piano inclinato.*

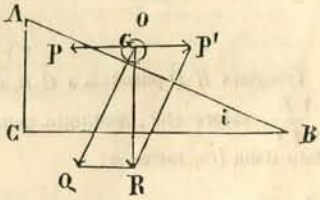


Fig. 54.

87. — 2.° Si voglia invece tenere in equilibrio il corpo con una potenza P, diretta parallelamente alla base del piano inclinato (fig. 54). Si supponga allora scomposto il peso R in due componenti Q e P', la prima perpendicolare al piano e distrutta dalla resistenza di questo, la seconda parallela alla base del piano; per l'equilibrio dovrà essere $P = P'$.

a) I triangoli $GP'R$, ABC simili, danno:

$$GP' : GR = AC : CB$$

ossia:

$$P : R = AC : CB$$

Cioè che, in questo caso, *la potenza deve stare alla resistenza, come l'altezza del piano inclinato sta alla sua base.*

b) Il triangolo rettangolo $GP'R$ dà:

$$GP' = GR \operatorname{tang} i$$

ossia:

$$P = R \operatorname{tang} i$$

Cioè, *la potenza è uguale alla resistenza moltiplicata per la tangente dell'angolo di inclinazione del piano inclinato.*

Osservazione. Risulta dunque che, a parità di condizioni, la potenza necessaria a sostenere un dato corpo su di un piano inclinato, è minore nel caso in cui la direzione della potenza stessa è parallela al piano inclinato.

88. — Per un dato corpo di peso R, posto su di un piano di data inclinazione i, R ed i rimangono costanti e quindi (lo si deduce dalla relazione $P = R \; sen \; i$) la forza P, che agisce a far discendere il corpo sul piano inclinato, è pure costante, qualunque sia la posizione del corpo sul piano. Sia a l'accelerazione indotta dalla forza P nel corpo, m la massa di questo, g l'accelerazione che assumerebbe il corpo stesso cadendo liberamente: Si avranno le relazioni (58 e 57):

$$(a) \qquad R = m\,g \qquad\qquad (b) \qquad P = m\,a$$

Divise membro a membro la (b) per la (a), si ottiene:

$$\frac{P}{R} = \frac{a}{g}$$

dalla quale, osservando che $\frac{P}{R} = sen \; i$, si cava:

$$(c) \qquad a = g \; sen \; i$$

L'accelerazione del moto sul piano è dunque uguale al prodotto dell'accelerazione della caduta libera, pel seno dell'angolo di inclinazione del piano stesso.

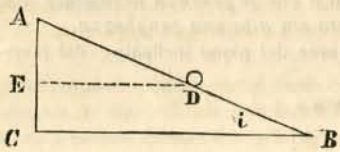


Fig. 55.

Ciò posto, è facile il dimostrare che *un corpo scendente per un piano inclinato è, in ciascun istante, animato dalla stessa velocità che avrebbe aquistato cadendo liberamente dalla stessa altezza.*

Sia infatti $A\,D$ (fig. 55) lo spazio descritto in un certo tempo dal corpo, a partire da A; v la velocità da esso posseduta quando giunge in D: sarà (49):

$$v = \sqrt{2\,a\,.\,A\,D}.$$

Tracciata $E\,D$ parallela a $C\,B$, dal triangolo rettangolo $A\,D\,E$ si ricava: $A\,D = \frac{A\,E}{sen \; i}$, valore che, sostituito nella precedente relazione insieme al valore di a dato dalla (c), fornisce:

$$v = \sqrt{2\,g \; sen \; i\,.\,\frac{A\,E}{sen \; i}},$$

ossia:

$$v = \sqrt{2\,g\,.\,A\,E}$$

Ma questa è appunto la velocità che il corpo avrebbe aquistata scendendo liberamente dall'altezza $A\,E$.

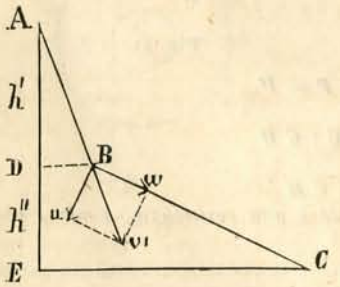


Fig. 56.

89. — Quando si tratti della discesa di un corpo su di una serie di piani inclinati, il principio ora dimostrato non si verifica, in causa delle variazioni di velocità provenienti dalla diversa inclinazione dei piani successivi, contro i quali il corpo urta e perde una parte della velocità iniziale aquistata precedentemente.

Si tratti, per esempio, di due piani inclinati AB, BC (fig. 56), e sieno, per semplicità, $AD = h'$, $DE = h''$ e l'angolo $ABC = a$. Arrivato il corpo in B, supposto che sia partito da A, possiederà la velocità:

$$(a) \qquad v_{,} = \sqrt{2\,g\,h'}$$

Si scomponga la velocità $v_{,}$ in due componenti, l'una w parallela al piano BC, l'altra u ad esso perpendicolare; quest'ultima componente è distrutta dall' urto; w è dunque la velocità del corpo quando comincia il suo moto sul piano inclinato BC; posta $v_{,,}$ la velocità del corpo alla fine di questo, essa sarà (49):

$$(b) \qquad v_{,,} = \sqrt{w^2 + 2\,g\,h''}$$

Dal triangolo $B\,v_{,}\,w$ si ricava facilmente $w = -\,v\,\cos a$, relazione dalla quale, sostituitovi il valore di $v_{,}$ dato dalla (a), si cava:

$$(c) \qquad w^2 = (2\,g\,h')\cos^2 a,$$

valore questo che, sostituito a sua volta nella (b), fornisce:

$$v_{,,} = \sqrt{2\,g\,h'\cos^2 a + 2\,g\,h''}$$

ossia finalmente

$$v_{,,} = \sqrt{2\,g\,(h'\cos^2 a + h'')};$$

espressione questa della velocità aquistata dal corpo, dopo di aver percorso i piani AB, BC.

Con analogo ragionamento si arriva facilmente a trovare la velocità di un corpo che abbia percorso successivamente una serie di un numero qualunque n di piani inclinati.

Sieno h', h'', h''' . . . . h_n le altezze dei successivi piani inclinati, a cominciare dal superiore; a, b, c . . . . gli angoli formati fra di loro dai successivi piani contigui; $w_{,}$, $w_{,,}$, $w_{,,,}$ . . . . le velocità iniziali al principio di ciascun piano; $v_{,}$, $v_{,,}$, $v_{,,,}$ . . . . la velocità alla fine dei successivi piani inclinati.

Se si suppone che il corpo parta dalla sommità del primo piano inclinato, $w_{,} = o$. D'altra parte la relazione (c) ci mostra poi, che il quadrato della velocità iniziale, sopra ogni successivo piano inclinato, si ottiene moltiplicando il quadrato della velocità alla fine del piano precedente, pel quadrato del coseno dell'angolo formato dai due piani contigui, tra i quali passa il corpo; quindi saranno:

$w_{,}^2 = o$

$w_{,,}^2 = v_{,}\cos^2 a = 2\,g\,h'\cos^2 a$

$w_{,,,}^2 = v''^2\cos^2 b = 2\,g\,(h.'\cos^2 a + h'')\cos^2 b = 2\,g\,(h.'\cos^2 a\,.\,\cos^2 b + h.''\cos^2 b)$:

ecc. ecc.

quindi la velocità v alla fine dell'ultimo degli n piani inclinati sarà:

$$(d)\; v = \sqrt{2\,g\,(h'\cos^2 a\,.\,\cos^2 b\,.\,\cos^2 c \ldots + h''\cos^2 b\,.\,\cos^2 c \ldots + h'''\cos^2 c \ldots + h\;)}$$

90. Discesa lungo una curva. — Nel caso particolare che il corpo scenda lungo una superfice curva, questa si potrà ritenere come formata da una serie di un numero grandissimo di piani inclinati di lunghezza estremamente piccola, così che, due di essi contigui qualunque, formino assai sensibilmente un'angolo di 180° (fig. 57). Ritenute allora le precedenti notazioni, in questo caso, la relazione (d) diventa:

$$v = \sqrt{2\,g\,(h' + h'' + h''' + \ldots + h_n)}$$

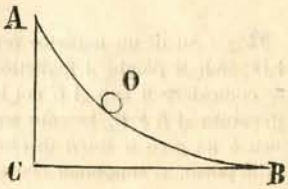


Fig. 57.

ossia, evidentemente:

$$v = \sqrt{2\,g\,.\,AC}\,.$$

Cioè, che *un corpo scendente per una curva qualsiasi, possiede, ad un istante qualunque, una velocità uguale a quella che avrebbe aquistata cadendo liberamente dalla stessa altezza.*

91. — Il moto però di un corpo scendente per una curva non è uniformemente accelerato: infatti, cangiando di continuo l'angolo d'inclinazione, evidentemente deve variare di continuo l'accelerazione del moto sulla curva (88).

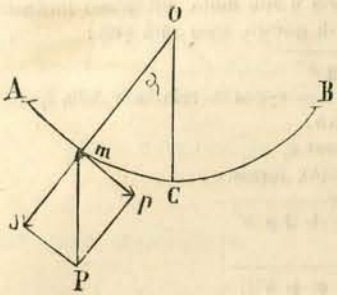


Fig. 58.

Si consideri, ad esempio, il caso in cui la curva è un arco di circolo AB (fig. 58) il cui centro è in O: sia m la posizione del corpo ad un dato istante, P il peso di questo, s e p le due componenti di P, l'una normale, l'altra tangente alla curva nel punto m; la prima è eliminata dalla resistenza della curva, l'altra è la forza motrice; sia α l'angolo formato dal raggio condotto al punto m, col raggio passante pel punto C più basso della curva. Dal triangolo rettangolo $m\,p\,P$ si ricava:

$$p = P\ sen\ \alpha$$

Ora, P è costante, ma α cambia da un istante all'altro, per cui p, e quindi a, sono pure variabili. Nel punto più basso C, $\alpha = 0°$ e, di conseguenza, anche $p = o$. Ciò non ostante, arrivato il corpo in C, non vi si arresta, ma, in causa della velocità aquisita, sale, astrazione fatta dalle resistenze, ad un altezza uguale a quella da cui è disceso e con moto di legge inversa; ridiscende poi di nuovo per risalire alla posizione di partenza, e così di seguito, compiendo un moto periodico detto di *oscillazione.*

Nel pendolo si verifica appunto un moto di questa natura; però; in causa della resistenza dell'aria e del debole attrito al punto di sospensione, l'ampiezza dell'arco descritto va man mano diminuendo, fino all'arrestarsi del corpo nella posizione più bassa della curva. Se l'ampiezza della oscillazione non supera gli 8° o 10°, le oscillazioni si possono, ciò non ostante, ritenere *isocrone;* si spiega così l'impiego del pendolo come regolatore degli orologi.

Se la curva descritta dal corpo fosse un arco di cicloide, la durata dell'oscillazione si manterrebbe costante anche col variare dell'ampiezza delle oscillazioni, giacchè questa curva possiede la proprietà che, posto in qualunque punto su di essa un corpo, questo impiega sempre lo stesso tempo ad arrivare al punto più basso della curva.

5.° *La vite.*

92. — Su di un foglietto rettangolare $ABCD$ (fig. 59), si tracci la diagonale AD; indi si pieghi il foglietto stesso a superfice cilindrica circolare, in modo da far coincidere il lato AC col lato BD; la diagonale formerà una linea a doppia curvatura $AEFD$, facente angolo costante colle generatrici del cilindro: questa linea è un *giro* o *spira* di *elica* o *spirale cilindrica.*

Ciò posto, si supponga che sulla superfice convessa di un cilindrico rigido (fig. 60), siasi tracciata una spirale ed in corrispondenza a questa siasi fissato un rilievo

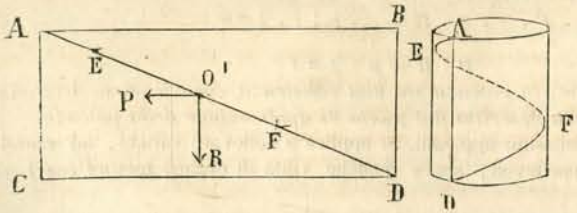


Fig. 59.

Fig. 60.

di forma prismatica: si avrà così l'organo meccanico detto *vite*. Al rilievo prismatico si dà il nome di *pane* della vite; la distanza costante tra due spire successive dicesi *passo* della vite ed il cilindro prende il nome di *mastio*. La vite gira ordinariamente in una cavità di forma corrispondente detta *madrevite* o *chiocciola*.

La vite può usarsi in diverse maniere. Qualche volta la madrevite è fissa e la potenza è applicata a far girare il mastio sopra sè stesso, così che in ogni giro esso viene a sollevarsi o ad abbassarsi di una quantità uguale al passo della vite; la resistenza è applicata in modo da opporsi a questo moto di traslazione.

Qualche altra volta la vite non può muoversi di traslazione, ed alla madrevite, libera solo di muoversi nel senso dell'asse della vite, è applicata la resistenza; la potenza è sempre applicata a far girare la vite.

Da quanto si è detto, si conclude facilmente che ciascuna spira della vite si può considerare come un piano inclinato $A\,D\,C$ (fig. 59), avente per base la $C\,D$, circonferenza della sezione retta del mastio, e per altezza $A\,C$, ossia il passo. La potenza, essendo normale all'asse della vite, agisce dunque parallelamente alla base del piano inclinato. La condizione di equilibrio nella vite è dunque espressa (87) dalla relazione:

$$P : R = A\,C : C\,D$$

e, posti: r il raggio del mastio, p il passo della vite:

$$P : R = p : 2\,\pi\,r$$

Cioè, che *nella vite, la potenza sta alla resistenza, come il passo sta alla circonferenza del mastio.*

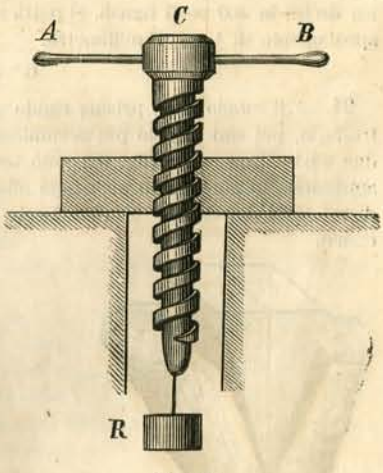


Fig. 61.

93. — Spesso la potenza non si applica direttamente alla superfice del mastio, ma agisce, per esempio, sull'estremo di una leva $A\,B$ (fig. 61), attraversante la *testa* C della vite.

Sia allora, l la lunghezza della leva, misurata a partire dall'asse del cilindro fino al punto di applicazione della potenza, ed x lo sforzo trasmesso dalla leva alla superfice del mastio; pel principio sulla leva si ha:

$$P : x = r : l$$

e per la vite:

$$x : R = p : 2\,\pi\,r$$

componendo le due proporzioni:

$$P \,.\, x : x \,.\, R = r \,.\, p : l \,.\, 2\,\pi\, r$$

ossia:

$$P : R = p : 2\,\pi\, l$$

Cioè che, in generale, *la potenza sta alla resistenza, come il passo della vite sta alla circonferenza descritta dal punto di applicazione della potenza.*

La vite offre svariatissimi impieghi. Si applica a sollevare carichi, ad esercitare pressioni ragguardevoli; serve qualche volta di organo motore (navi ad elice), ecc., ecc.

La vite risente un grande attrito, così che questo, qualche volta, supera la resistenza da vincere e l'equilibrio allora si mantiene, per l'attrito stesso, anche al cessare dell'azione della potenza. È in questo senso che la vite si vede spesso applicata a tener saldi o congiunti due oggetti (viti di pressione).

Se si tiene assai piccolo il passo delle vite, si rende assai lento il moto di traslazione della vite stessa o della madrevite: di questa lentezza di movimento si approfitta nelle *viti di livello* che servono, in numero di tre, poste ai vertici di un triangolo, come piedi di sostegno degli apparecchi di precisione e servono a dare a questi esattamente una voluta posizione.

La vite a passo piccolissimo ed esattamente lavorato, prende il nome di *vite micrometrica* e forma l'organo principale della *macchina di divisione*, destinata a graduare i regoli, e dello *sferometro*, apparecchio che serve a misurare piccolissimi spostamenti, lo spessore di corpi sottilissimi, ecc.

Si supponga che una vite micrometrica abbia il passo di $^1/_{10}$ di millimetro e porti applicato alla sua testa, normalmente al suo asse, un disco il cui lembo sia diviso in 400 parti uguali. Si potrà allora, con tal vite, misurare facilmente uno spostamento di $^1/_{4000}$ di millimetro.

6.° *Cuneo.*

94. — Il *cuneo* è un prisma rigido avente per base un triangolo isoscele; introdotto, pel suo spigolo più accuminato (*tagliente*), nell'intervallo esistente fra due parti di un corpo (fig. 62), può servire a disgiungerle od a tenerle disgiunte, applicando la potenza normalmente alla faccia opposta al *tagliente:* questa faccia dicesi *testa* del cuneo: le due faccie formanti il tagliente, diconsi *fianchi* del cuneo.

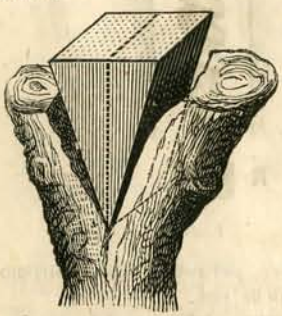


Fig. 62.

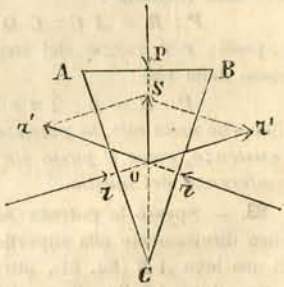


Fig. 63.

Si consideri il caso in cui la resistenza agisce normalmente ai fianchi del cuneo e sieno r, r le due componenti uguali della resistenza. Si immaginino queste componenti applicate nel punto O d'incontro delle loro direzioni (fig. 63), il quale,

evidentemente, appartiene all'altezza del cuneo, e sieno r', r'. La direzione della risultante S delle r, r' deve coincidere colla altezza stessa. È allora chiaro che, perchè vi sia equilibrio, dovrà essere: $P = S$. I due triangoli simili $O\ r'\ S$, $A\ B\ C$ danno:

$$OS : or' = AB : AC$$

ossia:

$$P : r = AB : AC.$$

Cioè, in questo caso, la condizione di equilibrio del cuneo è che, *la potenza stia alla resistenza sopra ciascuno dei fianchi, come la lunghezza della testa del cuneo sta alla lunghezza dei fianchi.*

L'effetto del cuneo sarà quindi tanto più grande, quanto più lunghi sono i suoi fianchi rispetto alla larghezza della testa, in altri termini, quanto più acuto è l'angolo al tagliente.

Si può anche determinare la relazione tra la potenza e la resistenza, indipendentemente dalle dimensioni del cuneo. Infatti, posto i l'angolo al tagliente, dal triangolo $S\ O\ r'$ si avrà:

$$S = \sqrt{r^2 + r^2 - 2\,r\,.\,r\cos i}$$

ossia:

$$S = \sqrt{2\,r^2\,(1 - \cos i)}$$

ed anche quindi:

$$S = \sqrt{4\,r^2\,\frac{1 - \cos i}{2}}$$

e ricordandosi che $\dfrac{1 - \cos i}{2} = sen^2\,{}^1/_2\,i$

$$S = \sqrt{4\,r^2\,.\,sen^2\,{}^1/_2\,i}$$

da cui:

$$S = 2\,r\,.\,sen\,{}^1/_2\,i.$$

Ricordandosi che $S = P$ e ponendo, d'altra parte, $2\,r = R$ resistenza totale sui due fianchi:

$$P = R\,.\,sen\,{}^1/_2\,i.$$

La potenza uguaglia la resistenza moltiplicata pel seno della metà dell'angolo al tagliente.

I coltelli, i chiodi, le punte, ecc., sono applicazioni del cuneo; questo lo si vede anche adoperato ad esercitare pressioni, a sollevar carichi a piccole altezze, ecc. La resistenza d'attrito da esso sofferta è assai ragguardevole, tantochè, nei casi usuali, la potenza devesi praticamente prendere tripla di quella calcolata teoricamente: tale resistenza spiega l'uso che si fa del cuneo per tener fortemente congiunte due parti distinte (chiodi, biette, ecc.).

7.° *Combinazione delle Macchine semplici tra loro.*

95. — Come si è detto, le macchine composte sono formate dalla combinazione delle diverse macchine semplici, delle quali ora si son studiate le condizioni di equilibrio.

Due o più macchine semplici diconsi combinate fra loro, quando la resistenza della prima non è altro che la potenza necessaria alla seconda; la resistenza di questa, la potenza necessaria alla terza e così di seguito.

Si arriva, in modo generale, a determinare la condizione di equilibrio tra la po-

tenza e la resistenza in una combinazione di macchine semplici, componendo ra loro le proporzioni proprie alla condizione di equilibrio di ciascuna macchina ed eliminando, nella proporzione che in tal modo risulta, i fattori comuni, derivanti dall'esser la potenza di una macchina, resistenza della precedente.

96. 1.° Combinazione di leve tra loro. — Si tratti della combinazione di tre leve e sieno a', a'', a''', i bracci della potenza, b', b'', b''' i corrispondenti bracci della resistenza; x la resistenza della prima leva e potenza della seconda, y la resistenza di quest'ultima e potenza della terza. Saranno:

1ª leva $\quad P : x = b' : a'$

2ª " $\quad x : y = b'' : a''$

3ª " $\quad y : R = b''' : a'''$

componendo ed eliminando poi i fattori comuni ai termini del primo rapporto:

$$P : R = b'.\ b''.\ b'''.\ :\ a'.\ a''.\ a'''$$

Cioè, che in una combinazione di leve, *la potenza sta alla resistenza, come il prodotto dei bracci della resistenza sta al prodotto dei bracci della potenza.*

97. 2.° Combinazioni di carrucole mobili. — Sieno n carrucole mobili, agenti l'una sopra l'altra; la potenza agisce sulla prima carrucola C, per mezzo di una puleggia di rinvio D (fig. 64); pei principi precedenti (85) e ritenute le precedenti notazioni, si avranno:

1ª carrucola $\quad P : x = 1 : 2$

2ª " $\quad x : y = 1 : 2$

. . . . . .

. . . . . .

nª " $\quad z : R = 1 : 2.$

Componendo ed eliminando i fattori comuni:

$$P : R = 1 : 2^n.$$

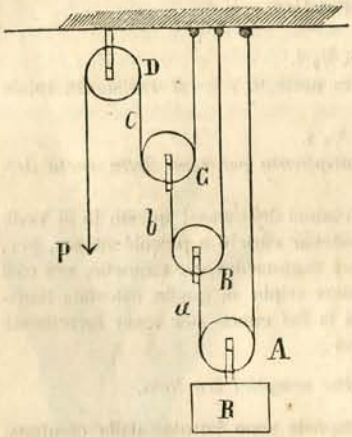


Fig. 61.

La condizione di equilibrio nella combinazione di carrucole rappresentata dalla figura, è dunque, che *la potenza sta alla resistenza, come* 1 *sta alla potenza di* 2, *il cui grado contiene tante unità, quante sono le carrucole mobili combinate.*

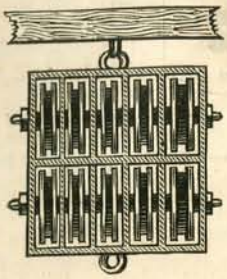
98. — Le carrucole possono però combinarsi in varie maniere, tali anche da dare un rapporto, tra potenza e resistenza, differente dal trovato. In ogni caso si potrà stabilire questo rapporto col seguente metodo, che applichiamo allo stesso sistema già osservato. Una volta stabilito l'equilibrio, i due tratti di fune che sostengono ogni carrucola, riescono evidentemente ugualmente tesi, così da sostenere ciascuno la metà del carico portato dalla carrucola. Ciò posto, facendo astrazione dal peso delle carrucole e dalle resistenze passive, la carrucola A sostenendo l'intiera resistenza, la tensione del tratto a sarà misurata da $\frac{1}{2}R$. La resistenza portata dalla carrucola B è dunque $\frac{1}{2}R$ e la tensione del tratto b è uguale ad $\frac{1}{2}.\frac{1}{2}R$. In ugual modo si conclude che la tensione del tratto c deve essere $\frac{1}{2}.\frac{1}{2}.\frac{1}{2}R = \frac{R}{2^3}$; quindi, dovendo la potenza uguagliare la tensione del tratto c:

$$P = \frac{R}{2^5}$$

ossia:

$$P : R = 1 : 2^5,$$

come già si era trovato coll'altro metodo.



I sistemi di carrucole stabiliti come quello mostrato dalla figura precedente, presentano in pratica diversi inconvenienti, tra i quali, principale, è il facile attorcigliarsi dei diversi tratti di fune tra di loro. Ordinariamente le diverse carrucole si fanno girevoli sullo stesso asse, e, in ogni caso, chiuse in una stessa staffa detta *cassa*. A simili riunioni di carrucole si dà il nome di *taglie*. Nelle combinazioni, una taglia vien fissata invariabilmente e l'altra, la *mobile*, sostiene la resistenza (fig. 65).

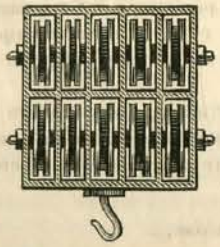


Fig. 65.

99. 3.° **Combinazioni di torni.** — Se i torni hanno gli assi lontani l'uno dall'altro e paralleli, si combinano mediante funi o cinghie continue, passanti dall'asse di uno dei torni ad abbracciare la ruota del tornio successivo (fig. 66); tangenzialmente alla ruota del primo tornio è applicata la potenza, la resistenza è applicata all'albero dell'ultimo tornio. Il movimento di due torni combinati può accadere nello stesso senso od in sensi opposti, a seconda che i tratti di fune o cinghia non sono o sono incrociati.

Quando gli alberi sieno vicini, si munisce il contorno delle ruote e quello degli assi (che in questo caso prendono il nome di *rocchetti*) di denti imboccantisi reciprocamente. Si hanno così i sistemi di ruote dentale (fig. 67).

Sieno D', D'', D''' . . . i raggi delle ruote di diversi torni combinati; d', d'',

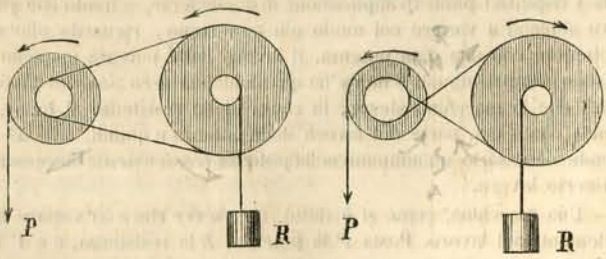


Fig. 66.

d''' i raggi dei rispettivi assi o rocchetti; P la potenza applicata al primo tornio, R la resistenza applicata all'ultimo tornio; potendosi i torni considerare come leve di primo genere: si avrà (96)

$$P : R = d'.\ d''.\ d'''... : D'.\ D''.\ D'''...$$

Cioè, che in una combinazione di torni, *la potenza sta alla resistenza, come il prodotto dei raggi degli assi sta al prodotto dei raggi delle ruote.* In una com-

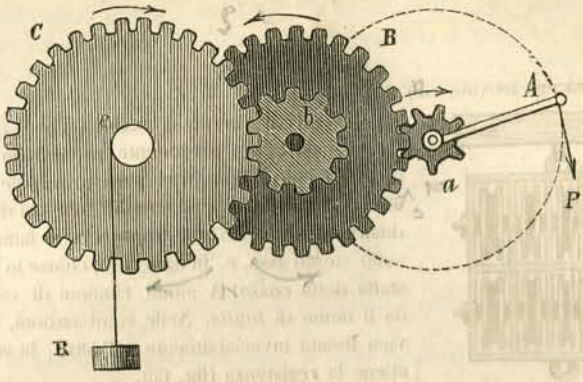


Fig. 67.

binazione di torni o di ruote dentate, non sempre si ha per iscopo di far variare il rapporto tra la potenza e la resistenza; spesso invece, come ne danno esempio gli orologi, si ha quello di far variare il rapporto tra le velocità dei punti di applicazione delle forze stesse.

Troppo si uscirebbe dai limiti stabiliti per questo trattato, col prendere in esame, anche solamente le più usate combinazioni di macchine semplici diverse; i precedenti esempi però, potranno, in ogni caso, servire di guida nella ricerca delle condizioni d'equilibrio delle combinazioni stesse.

Considerazione Generale sulle macchine.

100. — Come si è visto, colle macchine semplici e colle loro combinazioni o macchine composte, si può, con una piccola potenza, far *equilibrio* ad una grande resistenza. In generale però, le macchine non sono destinate allo scopo di tenere in equilibrio fra loro la potenza e la resistenza, bensì a trasmettere un lavoro, spostando i rispettivi punti di applicazione di quelle forze, in modo che gli elementi del lavoro abbiano a variare nel modo più opportuno, riguardo allo scopo che si vuol ottenere con una data potenza. Il lavoro della potenza e quello della resistenza sono sempre uguali e non v'ha quindi alcuna *creazione* di lavoro. Si osservi, anzi, che la macchina stessa, in causa delle resistenze al moto, consuma per proprio conto una parte del lavoro della potenza e quindi, anzichè tornare di ajuto, rende necessario un'aumento nella potenza *teoricamente* necessaria a compiere un certo lavoro.

101. — Una macchina, come si è detto, non serve che a far variare il rapporto tra gli elementi del lavoro. Posta P la potenza, R la resistenza, v e V le velocità dei rispettivi punti di applicazione di queste forze, si avrà sempre:

$$P \,.\, v = R \,.\, V,$$

da cui si deduce:

$$V : v = P : R$$

Cioè, che le *velocità dei punti di applicazione della potenza e della resistenza, sono in ragione inversa delle forze corrispondenti.* Con una macchina dunque, si potrà bensì smuovere una grande resistenza con una piccola potenza, ma a patto però che il punto di applicazione della potenza percorra, in un certo tempo, uno

spazio tante volte più grande di quello percorso nello stesso tempo dal punto di applicazione della resistenza, quante volte la potenza sta nella resistenza. Da qui le espressioni:

Ciò che si guadagna in forza si perde in ispazio.

Ciò che si guadagna in forza si perde in tempo.

Si tratti, per un esempio, della leva (fig. 68); astrazion fatta dalle resistenze passive, la nota condizione di equilibrio dà:

(*a*) $P : R = M B : M A.$

Si immagini che la leva, sotto l'azione della potenza, eseguisca un movimento tale da portarla dalla posizione $A\ B$ nella posizione $A'\ B'$; gli archi $B\ B'$, $A\ A'$ descritti dai punti di applicazione della resistenza e della potenza, stanno fra loro come i rispettivi raggi, quindi:

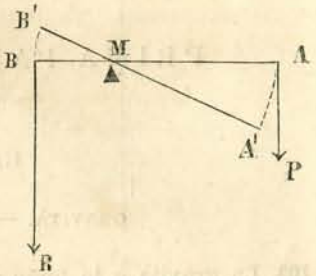


Fig. 68.

(*b*) $B B' : A A' = M B : M A;$

confrontata l'espressione (*a*) colla (*b*) si ottiene:

(*c*) $P : R = B B' : A A'$

da cui anche

(*d*) $P \,.\, A A' = Q \,.\, B B'$

Le relazioni (*c*) e (*d*) corrispondono appunto a quanto si era più sopra dichiarato.

Dopo ciò si capisce che, se si fa uso di macchine, non è già pel vantaggio da esse presentate, di creare potenza, ma sòlo perchè esse corrispondono agli svariatissimi bisogni dell'industria, ai di cui scopi possono, ad esempio, occorrere sforzi o velocità ingenti, o forme speciali di movimento.

102. — Il lavoro della resistenza o *lavoro resistente*, si divide in *lavoro utile*, che è quello necessario a vincere la data resistenza, ed in *lavoro passivo*, che è quello necessario a vincere le resistenze passive proprie della macchina. Evidentemente il lavoro resistente è la somma dei lavori utile e passivo. Posto L_u il lavoro utile, L_r il lavoro passivo, L_p il lavoro della potenza, si avrà sempre:

$$L_p = L_u + L_r$$

$$\text{e posto } \frac{L_u}{L_p} = \frac{1}{m}, \text{ sarà: } L_u = \frac{1}{m} L_p,$$

dove $\frac{1}{m}$ è il rapporto di utilizzazione della macchina. Quanto più la macchina è semplice e perfetta nella sua esecuzione, tanto maggiore riescirà naturalmente il rapporto di utilizzazione della macchina.

LIBRO PRIMO

PRIMA PARTE — GRAVITÀ.

CAPITOLO I.

GRAVITÀ. — CENTRO DI GRAVITÀ.

103. La gravità è la forza per la quale tutti i corpi cadono verso la terra. Questa forza è generale; se ne osservano gli effetti in tutti i luoghi e su tutti i corpi: se qualcuno di questi, come il fumo, le nubi, sembrano far eccezione, ciò deve attribuirsi all'aria atmosferica che li sostiene e spinge, come l'acqua fa collo sughero. In uno spazio vuoto d'aria, non solo tutti i corpi cadono, ma, come si vedrà più innanzi, cadono tutti colla medesima velocità.

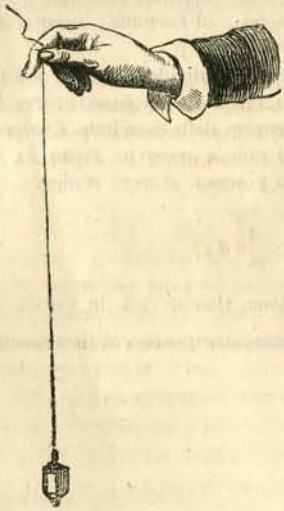


Fig. 69.

104. Direzione della gravità. — La direzione secondo la quale agisce la gravità dicesi *verticale* e la si determina facilmente col mezzo del semplicissimo istrumento detto *filo a piombo* (fig. 69). Si compone esso di un filo di cui, un capo è tenuto fisso, ed all'altro è sospeso un pezzo di metallo, generalmente foggiato a cono. Allorquando il sistema è in equilibrio, gli è chiaro che la risultante dell'azione della gravità sulle particelle della massa pesante, deve avere la stessa direzione del filo, giacchè è questo che impedisce la caduta della massa. Ma questa direzione non cangia, variando la forma ed il volume del corpo sospeso; essa è dunque pure la direzione della forza applicata ad una delle particelle elementari, come se questa fosse sospesa all'estremità del filo.

Si può dimostrare che la direzione della gravità è perpendicolare alla superfice di un liquido in equilibrio, o, come si dice ordinariamente, alla superfice delle acque tranquille. Perciò si so-

spende, al disopra della superfice di un liquido in equilibrio, un filo a piombo *O A* (fig. 70); a render facile l'esperienza, convien prendere un liquido alquanto opaco, per esempio dell' aqua tinta in nero, e vi si lascia pescare il peso: si può così osservare con molta nettezza l'imagine *A B* del filo prodotta per riflessione sulla superfice del liquido; si riconosce allora che questa imagine è rigorosamente sul prolungamento del filo, ciò che, come si vedrà trattando delle leggi della riflessione, conduce a stabilire che il filo a piombo è perpendicolare alla superfice del liquido.

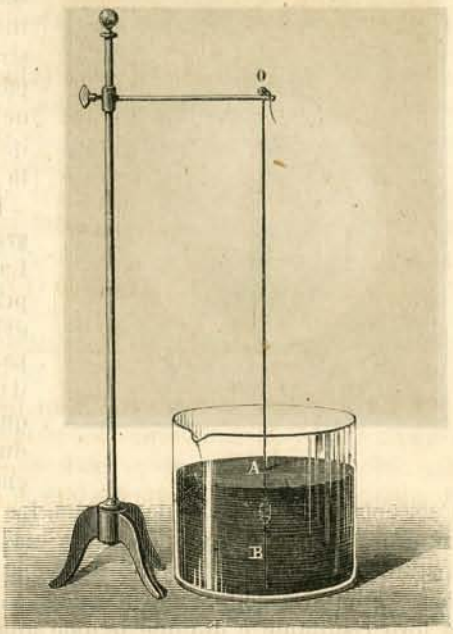


Fig. 70.

La superfice delle acque stagnanti costituisce in ciascun luogo ciò che dicesi superfice della terra (1). È questa la superfice dell'oceano, supposta tranquilla e prolungata in modo da coprire la totalità del globo terrestre; questa superfice, com' è noto, è sensibilmente sferica. Ne segue che le diverse verticali concorrono al centro della terra; la figura 71 mostra la posizione relativa di alcune verticali *CZ*, *CZ'*, *CZ''*; come si vede, esse formano tra di loro degli angoli uguali alla distanza angolare dei luoghi corrispondenti, distanza sempre facile a calcolarsi. In uno stesso luogo le verticali, in ragione della considerevole distanza del centro della terra, vanno considerate come esattamente parallele. Si cerchi per esempio l'angolo formato da due verticali situate ad un metro di distanza fra loro; un quarto della circonferenza terrestre, vale a dire 90 gradi, misura 10 milioni di metri; la distanza di un metro corrisponde dunque alla distanza angolare misurata da $\frac{90^\circ}{10000000}$, vale a dire a $^3/_{100}$ di

(1) Tal superfice dicesi *superfice orizzontale*. Una retta, un piano perpendicolari ad una verticale, diconsi: *retta orizzontale, piano orizzontale*.

NOTA DEL TRADUTTORE.

Fig. 71.

secondo circa, quantità affatto inapprezzabile anche cogli istrumenti i più precisi (1). Il parallelismo delle verticali nel medesimo luogo è un fatto indipendente dalla figura della terra.

105. Punto d' applicazione della gravità. — Centro di gravità. — La gravità, essendo una proprietà della materia, agisce, evidentemente, sulle diverse particelle materiali costituenti il corpo. Si divida un corpo in quante parti si voglia, lo si riduca in polvere impalpabile, ciascuno dei grani così ottenuti è sottoposto all'azione della gravità. La riunione, o meglio, la risultante di tutte le forze applicate a ciascun elemento di un corpo, costituisce la forza totale che sollecita il corpo a cadere. Queste forze, come si è detto, sono parallele e dirette nel medesimo senso; la loro risultante è dunque uguale alla loro somma e costituisce ciò che dicesi *peso* del corpo, vale a dire la forza colla quale il corpo preme l'ostacolo che gl'impedisce di cadere. Il punto d'applicazione *G* di questa risultante (fig. 72) dicesi *centro di gravità*. Il centro di gravità di un corpo, secondo quanto si è detto al § 31 (e 68), non varia di posizione rispetto al corpo stesso, quando se ne cambi la posizione di questo; infatti non varia, per ciò, la direzione delle componenti. Si può dunque voltare il corpo in qualunque modo, senza che la posizione del suo centro di gravità cangi; è questo un punto fisso, che dipende solamente dalla forma del corpo e dal modo con cui la materia vi è distribuita.

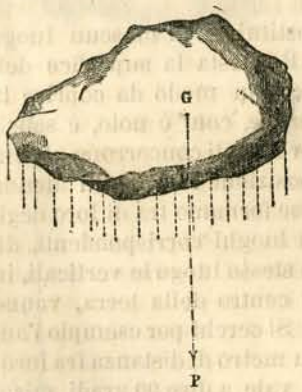


Fig. 72.

Se il corpo ha la stessa densità in tutte le parti, la posizione del

(1) Praticamente si possono ritenere parallele due verticali che non distino fra di loro più di 1" di grado, distanza angolare corrispondente a circa 30 metri.
NOTA DEL TRADUTTORE.

suo centro di gravità non dipende che dalla sua figura, ed allora, si può dire che, i corpi di forma simile, hanno il centro di gravità similmente posto.

La determinazione del centro di gravità costituisce un problema di meccanica, risolvibile con metodi appropriati, applicabili in generale e dei quali non abbiamo a tener parola: faremo osservare soltanto che, se un corpo omogeneo presenta un punto di simmetria, il centro di gravità coincide con questo punto; così: il centro di gravità di una retta è nel mezzo di questa, il centro di gravità di un circolo o di una circonferenza è nel loro centro, il centro di gravità di un parallelogrammo coincide col punto d'incontro delle sue diagonali, il centro di gravità di una sfera col centro di questa, il centro di gravità di un cilindro è al punto di mezzo del suo asse, il centro di gravità di un parallelepipedo si trova nel punto d'incontro delle sue diagonali ecc.

Può recar meraviglia che si faccia questione del centro di gravità di linee e di superfici, le quali, non presentando che una sola o due dimensioni, non possono aver peso e quindi centro di gravità. Ma, in questo caso, si fa un astrazione analoga a quella del punto materiale; si suppongono linee e superfici i di cui elementi sieno pesanti. I risultati ottenuti in questo modo possono venir utilizzati nella ricerca del centro di gravità dei corpi: si consideri per esempio un prisma triangolare; si potrà imaginarlo decomposto in elementi superficiali i quali sarebbero, per così dire, triangoli pesanti: il centro di gravità del solido si troverà pertanto nel mezzo della linea che riunisce i centri di gravità di tutti i triangoli. Si potrà dunque dire, che il centro di gravità di un prisma qualunque omogeneo, si trova nel punto di mezzo della retta che congiunge i centri di gravità delle due basi.

È pure importante di osservare che il centro di gravità non è un punto materiale: non esistono realmente che i differenti punti del corpo sollecitati dalla gravità; la risultante delle azioni di questa ed il suo punto d'applicazione, sono concezioni della mente, destinate a facilitare, in certi casi, lo studio dei fenomeni. Il centro di gravità può dunque trovarsi fuori del corpo; ciò accade per esempio in una sfera cava, in un anello ecc. Nelle quistioni di meccanica relative a questi corpi, si dovrà ritenere il centro di gravità come invariabilmente legato al corpo stesso.

106. Definizione fisica del centro di gravità. — Il centro di gravità, considerato meccanicamente, non è infatto che il centro di forze parallele distribuite in un modo determinato: si può dunque cercare questo punto con mezzi puramente geometrici e facendo astrazione da qualunque idea fisica sulla natura dei corpi. Gli è certo, ciononostante, che la scoperta del centro di gravità è dovuta

alla considerazione dei fenomeni d'equilibrio dei corpi sottoposti all'influenza della gravità. L'esperienza mostra, in fatto, che, nella maggior parte dei corpi, si può trovare un punto tale che, qualora venga fissato, riduce il corpo completamente in equilibrio colla gravità: quel punto è il centro di gravità. Questa proprietà è una conseguenza della definizione meccanica di questo punto, e la si potrebbe prendere anche per definizione, benchè non abbastanza precisa. Ne vedremo ora l'applicazione in alcuni casi di equilibrio, dei quali è utile aver conoscenza.

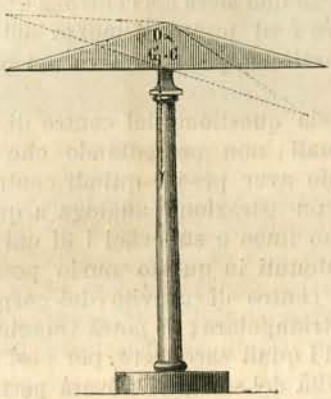


Fig. 73.

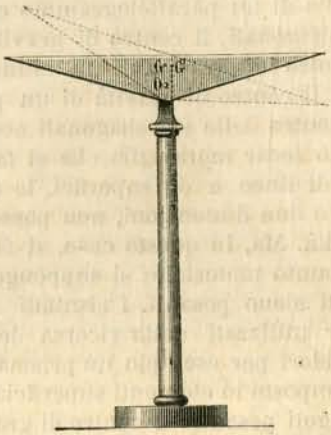


Fig. 74.

107. Equilibrio di un corpo sostenuto da un asse o per un punto fisso. — Si consideri una lamina triangolare mobile intorno ad un asse di rotazione O, e sia G la posizione del suo centro di gravità: perchè sussista l'equilibrio, è necessario che la verticale corrispondente al centro di gravità stesso passi per l'asse (70). Questa condizione può essere soddisfatta da due differenti posizioni del corpo, potendo infatti il centro di gravità trovarsi al disopra o al disotto dell'asse. Nel secondo caso (fig. 73) l'azione della gravità tende continuamente, quando venga spostato, a ricondurre il corpo nella posizione d'equilibrio; nel secondo caso invece, è chiaro che, se il corpo vien spostato anche di pochissimo dalla sua posizione d'equilibrio, (fig. 74) la gravità ha per effetto di fargli abbandonare maggiormente questa posizione, alla quale non può quindi ritornare. Nel primo caso citato l'equilibrio dicesi *stabile*, nel secondo *instabile*. La condizione dunque di equilibrio stabile è: *che il centro di gravità del corpo si trovi al disotto dell'asse o punto di sospensione.*

Il giocattolo conosciuto col nome di equilibrista (fig. 75), è un' applicazione di questo principio È formato esso da una figurina in avorio, appoggiata per un punto su di uno zoccolo orizzontale; due sferette di piombo terminano inferiormente due asticine metalliche, fissate alla figurina, così da abbassare il centro di gravità del sistema, fino a ridurlo al disotto del punto d'appoggio: l'equilibrio riesce perciò stabile e la figurina ritorna sempre nella posizione d'equilibrio, per quanto ne venga spostata.

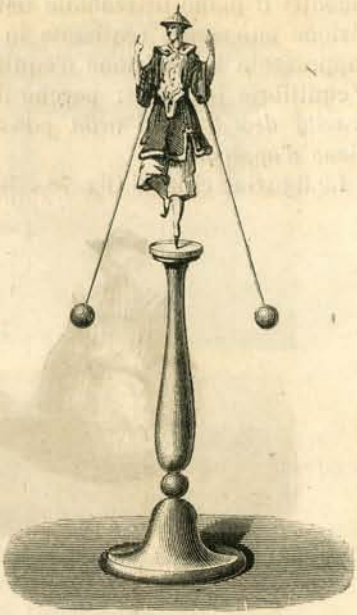


Fig. 75.

Se un corpo è attraversato da un asse passante pel suo centro di gravità, il suo equilibrio si dice *indifferente*, giacchè ha luogo in qualunque posizione del corpo. Questa condizione deve essere rigorosamente soddisfatta nelle ruote dei meccanismi, le quali non servono che alla trasmissione del movimento e non devono perciò avere alcuna determinata posizione di equilibrio.

108. Equilibrio di un corpo appoggiato per un punto su di un piano orizzontale.

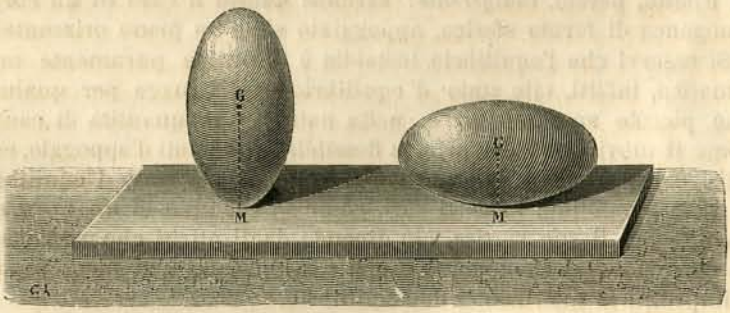


Fig. 76. Fig. 77.

— Si consideri un corpo di forma elissoidale posto su di un piano orizzontale; perchè esso si trovi in equilibrio, è necessario e sufficiente che la verticale passante pel suo centro di gravità G (fig. 76 e 77)

incontri il piano orizzontale nel punto d'appoggio *M*. Questa condizione può essere realizzata in due condizioni differenti: la fig. 77 rappresenta la posizione d'equilibrio stabile, la fig. 76 la posizione d'equilibrio instabile: perchè l'equilibrio sia stabile, *il centro di gravità deve trovarsi nella posizione più bassa possibile rispetto al piano d'appoggio.*

Le figurine chinesi (fig. 78 e 79), la bottiglia inversabile, sono fon-

Fig. 78. Fig. 79.

date, per esempio, su questo principio di stabilità: in esse il centro di gravità si trova molto basso, in causa di una apposita accumulazione di materia nella loro parte inferiore; spostati dalla loro posizione d'equilibrio, anche di assai, vi ritornano dopo alcune oscillazioni.

Se il centro di gravità rimane sempre ugualmente distante dal piano, in qualunque posizione del corpo, l'equilibrio ha sempre luogo ed è detto, perciò, *indifferente:* sarebbe questo il caso di un corpo omogeneo di forma sferica, appoggiato su di un piano orizzontale.

Si osservi che l'equilibrio instabile è di ordine puramente matematico, infatti, tale stato d'equilibrio, si distrugge per qualunque piccolo spostamento e, nella natura, una quantità di cause, come il movimento dell'aria, la flessibilità dei punti d'appoggio, ecc. agiscono a produrre tali spostamenti. Se questo stato d'equilibrio si vede mantenuto in certi casi, come ad esempio in un uovo sostenuto per il suo vertice, ciò dipende dagli attriti che modificano la condizione del fenomeno e che costituiscono una forza capace d'impedire la distruzione dell'equilibrio.

109. Equilibrio di un corpo appoggiato per più punti su di un piano orizzontale. — Quando un corpo appoggia su di un piano orrizzontale per più punti, perchè si trovi in equilibrio, è necessario che la verticele corrispondente al suo centro di gravità, passi all'interno del poligono convesso che si otterrebbe riunendo i punti

d'appoggio (1) (fig. 80); la gravità, in questo caso non ha altro effetto che di premere il corpo contro il piano. L'equilibrio è tanto più stabile, quanto più il centro di gravità è basso e quanto più la base d'appoggio è estesa. La stabilità dipende, inoltre, dalla posizione del punto d'incontro della verticale passante pel centro di gravità, colla base d'appoggio: se, per esempio, questo punto è assai vicino al perimetro del poligono, un piccolo sforzo, opportunamente diretto, potrà rompere l'equilibrio.

Fig. 80.

110. Metodo pratico per determinare il centro di gravità di un corpo. — I diversi metodi usati per la determinazione pratica del centro di gravità, sono fondati sui fenomeni di equilibrio. Qualunque sia il metodo, esso consiste sempre nel porre il corpo in un certo stato d'equilibrio, che permetta di fissare una linea od una superfice nelle quali si trovi il centro di gravità.

Così, per esempio, se con un filo si sospende un corpo per uno de'suoi punti, stabilito che sia l'equilibrio, il centro di gravità devesi trovare sul prolungamento del filo di sospensione; se si ripete l'esperienza, sospendendo il corpo per un altro punto, si avrà una nuova retta contenente il centro di gravità; questo allora coinciderà col punto d'intersecazione *G* dei due prolungamenti ottenuti (fig. 81).

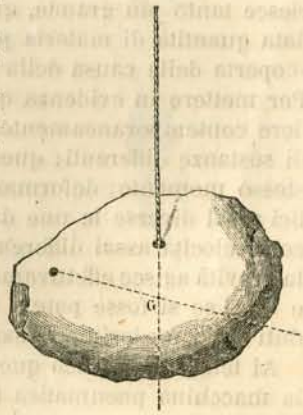


Fig. 81.

Se, per esempio, vuolsi determinare il centro di gravità di una lamina prismatica, si cercherà di sostenere in equilibrio la lamina appoggiandola per una delle sue faccie su di uno spigolo orizzontale: si potrà così stabilire un piano

(1) Cosifatto poligono è conosciuto col nome di *base d'appoggio*.
NOTA DEL TRADUTTORE.

verticale contenente il centro di gravità: operando ugualmente per una nuova posizione, si otterrà un nuovo piano contenente pure il centro di gravità: basterà allora sostenere il corpo in equilibrio in una terza posizione opportuna, per ottenere la posizione del centro di gravità, il quale coinciderà, evidentemente, colla comun sezione dei tre piani così determinati.

CAPITOLO II.

LEGGI DELLA CADUTA DEI CORPI.

III. Nell'aria i corpi cadono con disuguali velocità; i corpi molto densi, come il piombo, cadono rapidamente; i corpi ordinariamente detti leggeri, come le piume, la carta, cadono con molta lentezza. Si era dapprincipio creduto che, questo differente modo di comportarsi, dipendesse dalla natura stessa dei corpi, ma gli è facile l'intendere che non deve essere così: comprimiamo le piume, la carta in modo da farne una pallottola, riduciamo invece il piombo in una sottil foglia, e vedremo allora quest'ultima sostanza cadere meno velocemente delle prime. Dietro ciò è logico di attribuire l'ineguale velocità di caduta dei corpi alla resistenza dell'aria, resistenza che riesce tanto più grande, quanto più estesa è la superfice che una data quantità di materia presenta all'aria (56). Si deve a Galileo la scoperta della causa della disuguale velocità di caduta dei gravi. Per mettere in evidenza quest'influenza dell'aria, Galileo lasciò cadere contemporaneamente, dalla cima della torre di Pisa, delle sfere di sostanze differenti; queste arrivarono al suolo pressochè nello stesso momento; deformandole invece in modo da dar loro superfici assai diverse le une dalle altre, egli riconobbe che cadevano con velocità assai differenti. Galileo fu così condotto all'idea che la gravità agisce effettivamente colla stessa intensità su tutti i corpi e che, se si fosse potuto operare nel vuoto, questi sarebbero caduti colla medesima velocità.

Ai tempi di Galileo questa esperienza non era possibile, giacchè la macchina pneumatica non era ancora inventata; questa esperienza venne realizzata da Newton, e la si ripete oggigiorno in tutti i corsi di fisica. Serve all'uopo un tubo lungo da 1,50 a 2 metri, nel quale si può fare il vuoto (fig. 82); nel tubo si trovano dei corpi di differente densità, come grani di piombo, pezzetti di carta, piume ecc. Se si capovolge il tubo quando vi si trova l'aria, si vedono i differenti corpi cadere con differenti velocità; ma, se si

ripete l'esperienza, dopo di aver fatto il vuoto nel tubo, non si può riscontrare alcuna differenza fra la durata della caduta dei diversi corpi stessi.

Leggi della caduta dei gravi. — Galileo, dopo aver riconosciuto che l'effetto della gravità è uguale su tutti i corpi, cercò di determinare la loro legge di caduta. L'osservazione però della caduta libera presenta grandi difficoltà, in causa della rapidità colla quale ha luogo; Galileo imaginò di diminuire questa rapidità, senza perciò alterare la legge fisica del movimento che si trattava di studiare: egli ricorse perciò al piano inclinato.

Si consideri un corpo pesante M (fig. 83) posto sul piano inclinato $A\ B\ C$: il peso del corpo M rappresentato dalla MP, si può, secondo quanto si è detto (32), decomporlo in due forze; l'una MN perpendicolare al piano inclinato ed eliminata dalla resistenza del piano stesso; l'altra $M\ T$ parallela al piano, che produce da sola il movimento. Quest'ultima forza è minore della $M\ P$, ma ne è una frazione costante qualsiasi la posizione del corpo sul piano inclinato, giacchè, per qualunque punto di questo, la figura di decomposizione sarebbe la stessa e le due rette $M\ T$ e $M\ P$ conserverebbero sempre lo stesso rapporto (86 e 88). Il movimento riescirà infatto sempre meno veloce, ma la sua legge rimane conservata e l'osservazione diventa, pertanto, più facile. La diminuzione di velocità presenta anche il vantaggio di attenuare l'importanza relativa della resistenza dell'aria, resistenza che cresce assai rapidamente colla velocità (56). Il piano inclinato impiegato da Galileo, era formato da un lungo regolo munito di incavatura cilindrica, nella quale egli faceva discendere una sferetta pesante. Avendo osservato, con questo metodo, gli spazi percorsi durante 1, 2, 3, ... unità di tempo, Galileo scoprì che questi spazi

Fig. 82.

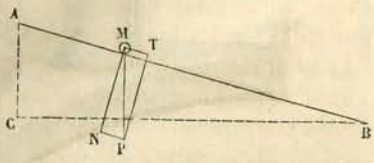


Fig. 83.

stanno fra loro nello stesso rapporto dei numeri 1, 4, 9,..., vale a dire che, raddoppiando o triplicando il tempo della caduta, lo spazio percorso diventa rispettivamente 4 o 9 volte più grande. Si può enunciare questa legge nel seguente modo: *gli spazi percorsi da un grave cadente liberamente, sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati a percorrerli.*

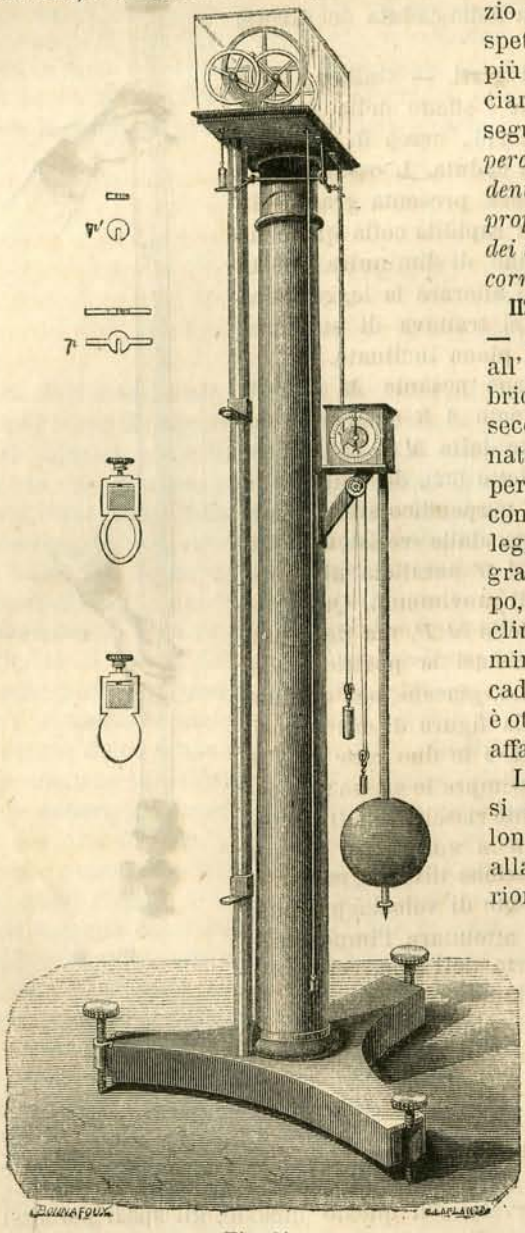


Fig. 84.

112. Macchina d'Atwood. — Atwood, professore all'Università di Cambridge, verso la fine del secolo scorso ha imaginato una macchina che permette di verificare con molta precisione le leggi della caduta dei gravi: essa ha per iscopo, come il piano inclinato di Galileo, di diminuire la velocità della caduta, ma questo effetto è ottenuto con un mezzo affatto diverso.

La macchina (fig. 84) si compone di una colonna verticale la quale, alla sua estremità superiore, porta una puleggia assai mobile e costituente la parte essenziale dell'apparecchio: per ottenere questa grande mobilità, si fa appoggiare ciascuna delle estremità dell'asse della puleggia sopra i quarti incrociati di due pu-

leggie mobili; questa disposizione ha per effetto di diminuire d'assai l'attrito (1). Sulla puleggia è accavallato un filo sottile, alle cui estremità sono appesi due pesi uguali P; per cui, astrazione fatta del peso del filo, è chiaro che, in qualunque posizione, i due pesi si faranno equilibrio. Ma se si carica uno dei due pesi stessi di una massa addizionale di peso p, il sistema si metterà in movimento. Siccome tutti i punti del sistema descrivono linee rette uguali e parallele, si può imaginare che la forza che li sollecita sia ripartita uniformemente su ciascun punto: ma la sola forza agente è il peso p, dimodochè, se il sistema mobile ha una massa uguale, per esempio, a 20 volte quella del peso p, ciascun punto di questo sarà sollecitato da una forza 20 volte più piccola di quella che agirebbe, se il peso stesso cadesse da solo (57). In generale, se p è il peso addizionale e P il peso di ciascuna delle masse, la forza che produce il movimento del sistema verrà diminuita, rispetto a quella che produce la caduta libera, nel rapporto costante:

$$\frac{P}{2P+p}.$$

La forza è dunque diminuita in un rapporto costante, come nel piano inclinato, e, per conseguenza, le leggi del movimento rimangono le stesse di quelle della caduta libera. Ciò posto, ecco quali sono le disposizioni della macchina d'Atwood, colla quale si possono facilmente studiare le leggi della caduta dei gravi.

Uno dei pesi si muove a fianco di un regolo graduato, sul quale si può fissare, a diverse altezze, un corsoio piano: un orologio a secondi serve a misurare il tempo.

Per misurare lo spazio percorso nel primo secondo, si fa risalire il peso all'origine della graduazione, lo si carica della massa addizionale e lo si abbandona nel momento in cui il pendolo comincia un'oscillazione; si arriva a determinare con molta precisione questo spazio, collocando, per tentativi, il corsoio in una tale posizione del regolo, che si abbia ad intendere simultaneamente, il rumore del pendolo che termina la sua oscillazione e quello

Fig. 85.

(1) A tale disposizione si dà il nome di *tribometro* (56).
NOTA DEL TRADUTTORE.

del corpo che va ad urtare contro il corsoio stesso. Onde la caduta cominci precisamente al principio dell'oscillazione del pendolo, si colloca il peso su di una tavoletta M (fig. 85); questa è sostenuta dall'estremità della leva $a\ b$, appoggiante, alla parte inferiore, su di un eccentrico, fissato alla ruota di scappamento dell'orologio; si supponga che, girando la ruota nel senso indicato dalla freccia, l'estremità b della leva, scorrente sul profilo dell'eccentrico, arrivi nella posizione indicata dalla figura; allora, se il movimento continua, il punto b cessa di essere sostenuto e si trova bruscamente spinto verso sinistra; l'estremità superiore a verrà allora spinta verso destra, e la tavoletta M, abbandonata a sè stessa, si abbassa e lascia libera la caduta; basta dunque calettare l'eccentrico in modo che simili movimenti si producano nell'istesso momento in cui vi ha scappamento di un dente.

È dunque assai facile di misurare gli spazi percorsi dal sistema mobile durante 1, 2, 3 secondi: se per esempio si è rilevato che, nel primo secondo, lo spazio percorso è di 11 divisioni, si troverà:

Spazio percorso durante 2″	$44 = 11 \times 2^2$	
» » » 3″	$99 = 11 \times 3^2$	
» » » 4″	$176 = 11 \times 4^2$	

Se ne deduce che gli spazi percorsi crescono proporzionalmente ai quadrati dei tempi impiegati a percorrerli. In generale, se K è lo spazio percorso nella prima unità di tempo, lo spazio s percorso nel tempo t è dato dalla formola:

$$s = K\,t^2 \qquad (1)$$

113. Velocità — La macchina d'Atwovd permette di studiare le velocità successive che la gravità imprime al sistema: per intendere il mezzo a ciò usato, basterà ricordarsi la definizione della parola *velocità* (22): si supponga che ad un dato momento cessi l'azione della forza; il movimento diventa uniforme; la velocità di questo movimento è ciò che dicesi *velocità del corpo in quel dato momento.*

Qualche volta le si da anche il nome di *velocità aquisita.* La macchina d'Atwood permette appunto di togliere, ad un dato momento, l'azione della gravità. Perciò si colloca, al punto dove arriva il grave alla fine del primo minuto secondo, un corsoio anulare che lascia passare il peso, ma ferma la massa addizionale, essendo questa è opportunamente foggiata (p): a partire da questo momento, il peso continua il suo movimento in virtù della velocità aquisita durante il primo secondo; si colloca poi il corsoio piano nella posizione dove arriva il peso dopo scorso un altro secondo; l'intervallo compreso fra i due corsoi fornisce la velocità posseduta alla fine del primo minuto secondo di caduta.

Eseguendo questa esperienza nelle stesse condizioni in cui si è

supposta fatta quella relativa agli spazi, si trova che la velocità acquistata dopo il primo secondo è rappresentata da 22 divisioni: si opera in seguito allo stesso modo, fissando, il corsoio anulare, al punto ove arriva il sistema mobile alla fine di 2 di 3 secondi, ed il corsoio piano, dove quello arriva un minuto secondo dopo; si misurano così le velocità alla fine di 2 secondi, di 3 secondi, e le si trovano uguali, rispettivamente, a 44 e a 66 divisioni.

Si vede dunque che *le velocità aquistate, crescono proporzionalmente ai tempi impiegati ad aquistarle.* Si osservi inoltre, che la velocità 22 acquistata nel primo secondo, è il doppio dello spazio percorso nel primo minuto secondo stesso. Nella formula (1), K è lo spazio percorso nella prima unità di tempo; la velocità alla fine di questa stessa unità di tempo è dunque di $2\,K$ e, per conseguenza, la velocità V aquistata dopo un tempo t, è data dalla formula:

$$V = 2\,K\,t \qquad (2)$$

114. Formule relative alla caduta dei corpi. — Le formule (1) e (2) caratterizzano il moto che in meccanica vien detto uniformemente accelerato (46 e 48); si può dunque concludere, dalle esperienze precedenti, che la gravità induce nei gravi un moto uniformemente accelerato. Per risolvere numericamente le diverse quistioni che risguardano la caduta dei corpi, basta conoscere lo spazio percorso nel primo minuto secondo da un corpo cadente, o la velocità da esso aquistata alla fine del tempo stesso. L'apparecchio descritto permetterebbe di fare questa determinazione, ma non con sufficiente esattezza; il pendolo, come si vedrà nel seguente capitolo, fornisce un mezzo assai esatto per tale determinazione. Si trova con tal mezzo che a Parigi la velocità acquistata da un corpo dopo 1″ di caduta è di 9^{m}, 8088; questa quantità la si rappresenta colla lettera g e vien spesso denominata *intensità della gravità*: questa espressione non è esatta, giacchè g rappresenta unità di lunghezza e non unità di forza; l'uso di tale espressione devesi alla relazione che passa tra l'intensità delle forze e la corrispondente velocità assunta da un mobile, giacchè, evidentemente, più la forza che produce il movimento è grande, più grande è pure la velocità acquistata in 1″; anzi tra queste due quantità esiste, come lo si vedrà in seguito, un rapporto di proporzionalità (1) (57).

Lo spazio percorso nel primo minuto secondo di caduta è $\frac{1}{2}\,g$, vale a dire 4^{m}, 9014. L'introduzione della quantità g nelle formule (1) e (2) dà:

(1) A Milano $g = 9^{m}$, 8058; a Roma $g = 9$, 8026.

NOTA DEL TRADUTTORE.

$$S = \frac{1}{2} g t^2 \qquad (a)$$

$$V = g t \qquad (b)$$

Da queste due equazioni si deduce una terza formula, di frequente uso, la quale fornisce la velocità acquistata da un corpo percorrendo un dato spazio:

$$V = \sqrt{2 g s} \qquad (c)$$

Applicazioni. — I.° Calcolare lo spazio percorso da un corpo in un dato numero di secondi. Si farà uso della formula *(a)*, mettendo in luogo di t il numero di secondi dato. Facendo il calcolo da 1 fino a 10 secondi, si può formarne la seguente tavola:

Durata della caduta in secondi	Spazi percorsi	Durata della caduta in secondi	Spazi percorsi
1	4^m,905	6	176^m,581
2	19,620	7	240,345
3	44,145	8	313,920
4	78,480	9	397,305
5	122,625	10	490,500

II.° Qual'è il tempo impiegato da un corpo per cadere dall'altezza di 250 metri, e quale la sua velocità alla fine della caduta?

Le formule (*a*) e (*c*) danno:

$$t = \sqrt{\frac{2 s}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 250}{9,8088}} = 7'',1$$

$$V = \sqrt{2 g s} = \sqrt{2 . 9,8088 . 250} = 70^m.$$

III.° Da quale altezza dovrebbe cadere un corpo per acquistare la velocità di 500 metri al secondo.

La formula (*c*) dà

$$s = \frac{V^2}{2 g} = \frac{250000}{2 \times 9,8088} = 12742 \text{ metri.}$$

La velocità di 500 metri al secondo è, press'a poco, quella di un projettile all'uscita di un arma da fuoco; come si vede, questa velocità sarebbe dalla gravità comunicata ad un corpo, dopo una caduta di circa 13 chilometri: la durata di questa caduta sarebbe, press'apoco, di 50 secondi. A proposito di questo problema, gli è utile di osservare che le formule (*a*), (*b*), (*c*), si riferiscono alla caduta nel vuoto; nelle cadute nell'aria, specialmente quando la velocità è considerevole, i risultati da esse fornite sono lontani dal vero: d'altronde elevandosi notevolmente al disopra della superfice terrestre, la gravità stessa cambia di valore in modo sensibile. Le

formule precedenti saranno dunque da usarsi nel caso di piccole cadute, cosicchè la resistenza da parte dell'aria riesca piccola.

La differenza principale, fra la caduta nel vuoto, e la caduta nell'aria, si è che, in quest'ultimo caso, la velocità, anzichè crescere indefinitamente, raggiunge un limite sensibilmente costante, e tanto più prontamente, quanto più grande è la superfice del corpo e piccola la sua densità (56).

115. La macchina d'Atwood non lascia nulla a desiderare sotto il rapporto dell'esattezza, ma è di costruzione complicata, quindi, di prezzo elevato. Bourbouze ha modificato la macchina d'Atwood in modo da renderla di un uso semplice (fig. 86). *A B* è la puleggia, sull'asse della quale, si trova un cilindro *P*, rivestito di un foglio di carta affumicata; uno dei pesi *M*, in ferro, è trattenuto alla parte inferiore dell'apparecchio da un elettro calamita, agente sotto l'azione dell'elemento *O*; con questa disposizione, il peso *M'*, caricato della sua massa addizionale *N*, non può obbedire all'azione della gravità. Sul cilindro affumicato appoggia, per mezzo di uno stilo assai leggero, una lamina vibrante *L*, trattenuta da un elettro-calamita *E'*, nella quale circola la corrente stessa dell'elemento *O*; se, ad un momento determinato, s'interrompe la corrente, il peso *M'* cade, la lamina vibra e disegna una curva ondulata sulla superficie del cilindro: le ondulazioni di questa linea corrispondono a tempi rigorosamente eguali, inquantochè provengono dalla vibrazione di un corpo elastico; le distanze che separano le successive ondulazioni, dipendendo dalla velocità di rotazione del cilindro *P*, sono proporzionali agli spazi percorsi dal sistema mobile. Eseguita l'esperienza, si trova che queste distanze crescono come la serie dei numeri 1, 4, 9, ecc. L'anello *D* è destinato a trattenere la massa addizionale *N* ad un dato momento, a partire dal quale il movimento diventa uniforme ed allora le ondulazioni della linea tracciata riescono equidistanti. Comunque modificata, la macchina d'Atwood serve a prove indirette,

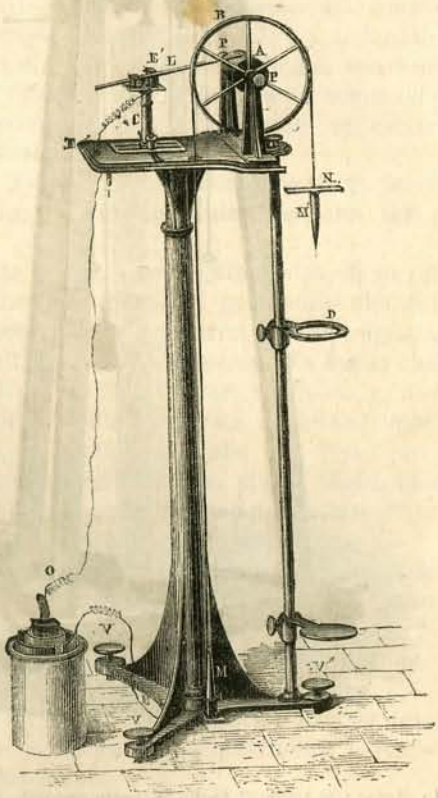


Fig. 86.

giacchè non si osserva il movimento di un corpo cadente liberamente: sebbene questa circostanza non lasci incertezza alcuna sulla legittimità delle conclusioni alle quali si arriva, può essere interessante l'osservazione diretta della caduta libera: questo scopo è raggiunto coll'apparecchio di Morin.

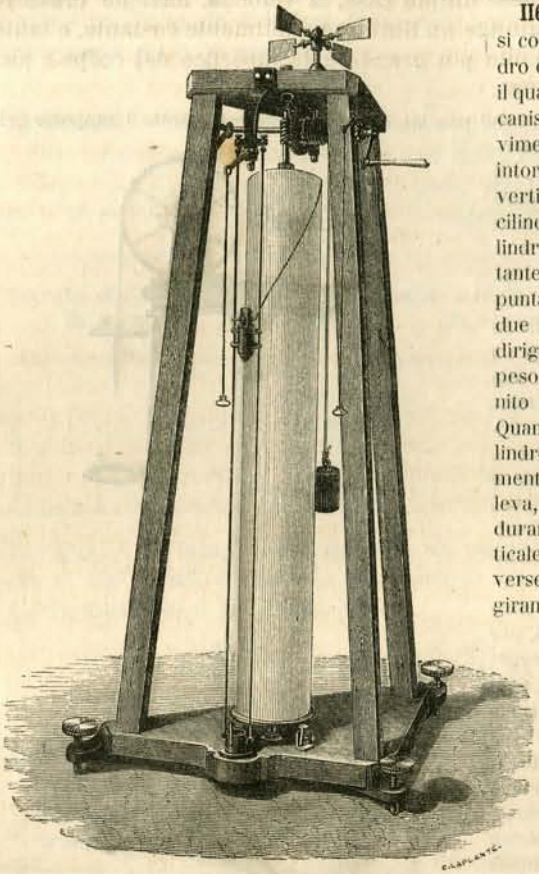


Fig. 87.

116. — Questo apparecchio si compone (fig. 87) di un cilindro di legno coperto di carta, il quale, per mezzo di un meccanismo, può ricevere un movimento uniforme di rotazione intorno al suo asse, disposto verticalmente: di fronte al cilindro si trova un peso cilindro-conico di ghisa, portante una matita la di cui punta si appoggia sulla carta: due fili verticali servono a dirigere nella sua caduta il peso, il quale è, all'uopo, munito di opportune orecchie. Quando il movimento del cilindro sia divenuto sensibilmente uniforme, toccando una leva, si lascia cadere il peso: durante il suo movimento verticale, la matita incontra le diverse generatrici del cilindro girante e descrive perciò, sulla superfice di questo, una curva il di cui studio permette la deduzione delle leggi della caduta, scritte dal grave cadente stesso. Si descrive, col mezzo della matita dell'apparecchio, la circonferenza passante per l'origine della curva, e la verticale corrispondente al punto stesso; si taglia il foglio di carta secondo questa retta e lo si sviluppa; allora le linee tracciate si presenteranno come lo mostra la figura 25. Se si prendono sulla retta orizzontale, a partire dal punto O, delle parti uguali 1, 2, 3, 4, 5..... e si abbassano dai punti di divisione le perpendicolari alla retta stessa, terminanti alla curva, gli è evidente che i punti d'incontro con questa, saranno stati tracciat dalla matita quando il cilindro ha ruotato di spazi 1, 2, 3, 4..... Le verticali corrispondenti rappresentano dunque la lunghezza degli spazi percorsi durante i tempi 1, 2, 3, 4; si trova, come lo mostra la figura, che questi spazi sono rappresentati dai numeri 1, 4, 9, 16.....; si verifica dunque che gli spazi percorsi sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati a percorrerli. La curva descritta è una parabola (52).

117. Forza costante. — La gravità fornisce un esempio di una forza che induce in un corpo accrescimenti uguali di velocità in tempi uguali: si osservi anche che, in ciascuna delle unità di tempo successive, lo spazio dovuto al nuovo impulso della forza è sempre lo stesso. Infatti, sia a lo spazio percorso nel primo secondo; lo spazio percorso durante 2 secondi è $4\ a$; quindi quello percorso nel solo secondo minuto secondo è $3\ a$; questo spazio si compone di due parti; di quello dovuto alla velocità acquistata alla fine del primo secondo, uguale a $2\ a$, e di quello proveniente dal nuovo impulso della forza, il quale, evidentemente, è eguale ad a. Ugualmente: lo spazio percorso nel terzo secondo è $5\,a$, da cui, sottratto lo spazio $4\ a$, che vien percorso in causa della velocità acquistata nei primi 2 secondi, si ha ancora a per spazio dovuto al nuovo impulso della forza; e così di seguito.

Egli è naturale di dare il nome di forza costante ad una forza che presenta simile carattere; la gravità è dunque una forza costante.

Dal momento che la mente arriva a concepire l'idea di forza, può pur concepire *a priori* che una forza sia costante e che, tal forza, non si manifesti altrimenti che col produrre, in tempi uguali, uguali accrescimenti di velocità e di spazio percorso. Ne segue che una forza costante, agente su di un punto materiale in riposo, gl'imprimerà un movimento uniformemente accelerato. Accettando questa conseguenza, si ammette, implicitamente, che una forza produce su di un punto materiale in movimento, lo stesso effetto che su di un punto in riposo; questo non è che un caso particolare di un principio più generale, confondentesi con quello dell'inerzia.

Quando un sistema di punti è animato da un movimento ad essi comune, e uno di questi punti venga sollecitato da una forza particolare, il suo movimento relativo è indipendente dal movimento comune e, per conseguenza, è tale, come se il sistema fosse in riposo.

Gli è così, per esempio, che su di un battello, in un vagone, trascinati con una velocità più o meno grande, i movimenti particolari non provano alcuna modificazione.

118. Proporzionalità delle forze alle velocità. — Dal principio esposto si deduce direttamente, che, se una forza F imprime ad un punto materiale una velocità V nell'unità di tempo, un'altra forza uguale ad F, agendo contemporaneamente sullo stesso punto, darà pure luogo ad un aumento di velocità V; la velocità totale sarà quindi $2\ V$. Si dà generalmente il nome di accelerazione di una forza costante all'accrescimento di velocità che questa induce in un punto materiale in ciascuna unità di tempo. Si può dunque dire, che le forze applicate ad un punto materiale, sono proporzionali alle ac-

celerazioni da esse prodotte o, in generale, alle velocità che esse fanno loro acquistare nello stesso tempo (57).

Qualche autore ha tentato di stabilire a priori la legittimità di questa relazione; ma questa è veramente una intrapresa vana. In fatto nulla è noto sulla natura intima delle forze, non si conoscono che i loro effetti e due forze si dicono eguali, quando danno luogo ad un fenomeno fisico identico: è così, ad esempio, che un peso il quale infletta il dinamometro allo stesso grado ottenuto da un certo sforzo muscolare, costituisce una forza equivalente od uguale a questo. Non si può dunque stabilire alcun legame necessario tra la causa, che noi diciamo forza, e l'effetto ch' essa produce, giacchè è il solo effetto che noi conosciamo.

119. Massa dei corpi. — Il fatto che forze uguali, applicate a corpi differenti, inducono in questi velocità differenti, ha dato origine all' idea di massa: un corpo ha una massa più grande d'un altro o, come dicesi in fisica, contiene più materia, quando la stessa forza gl'imprime una velocità più piccola, e viceversa: comunque sia, il quoziente della forza per l' accelerazione da essa indotta, definisce il corpo sotto il punto di vista della massa, e può essere preso come misura di questa. Si vede così che una forza può essere misurata dal prodotto della massa su cui agisce per la velocità che a questa imprime in un' unità di tempo (57 e 58).

La gravità, potendo ritenersi come una forza costante in direzione ed, entro certi limiti, in intensità, posta M la massa di un corpo di peso P, e g l' accelerazione dovuta alla gravità; si avrà:

$$P = M g$$

Questa formula mostra come, nello stesso luogo, i pesi dei corpi sono proporzionati rispettivamente alle loro masse, g avendo lo stesso valore per tutti i corpi. Non esiste guari la stessa relazione, quando si considerino corpi in luoghi diversi; siccome però le variazioni sono assai piccole, si possono considerare, la massa ed il peso, come quantità sensibilmente nello stesso rapporto, e spesso anzi si confondono i significati dei due vocaboli. Bisogna però osservare che, queste due espressioni, corrispondono a concetti distinti e, astrazione fatta da qualunque valutazione numerica, la massa di un corpo è, per così dire, qualcosa di proprio a questo ed indipendente dal peso. Anche facendo astrazione dalla gravità, una sfera di piombo ha una massa maggiore di una sfera di sughero dello stesso diametro; ciò si riconosce ordinariamente, è vero, col fatto che il peso della sfera di piombo è maggiore del peso della sfera di sughero; ma, in difetto della gravità, qualunque altra forza condurrebbe al medesimo criterio.

CAPITOLO III.

PENDOLO.

120. Pendolo. — Quando un corpo è sospeso ad un asse di rotazione che non passa per il suo centro di gravità, non può trovarsi in equilibrio stabile che allorquando il suo centro di gravità si trova al disotto dell'asse, e nel piano verticale passante per questo. Se questa condizione non ha luogo, il corpo oscilla intorno a questa posizione d'equilibrio, finchè, la resistenza dell'aria e l'attrito sull'asse di sospensione, abbiano distrutto il suo movimento. Un corpo sospeso in tal modo, qualunque sia la sua forma, dicesi *pendolo*. Ordinariamente esso è formato da un'asta sospesa ad un asse *O* (fig. 88) alla parte superiore e portante alla parte inferiore una pesante lente *M*, che può venir alzata od abbassata per mezzo della vite *V*. Le applicazioni del pendolo sono assai importanti; serve di regolatore negli orologi; è con esso che si misura l'intensità della gravità e se ne constatano le variazioni nei diversi luoghi del globo (1): è dunque importante di conoscere, almeno i principi fondamentali della sua teoria; a tal uopo, si ricorre ad un *pendolo ideale* che, in meccanica, dicesi *pendolo semplice*.

Fig. 88.

121. Pendolo semplice. — Il pendolo semplice sarebbe formato da una molecola *M* (fig. 89), sospesa all'estremità di un filo inestensibile e senza peso, l'altra estremità del quale è fissa in *A*. Quando il filo è verticale, il peso della molecola, agendo secondo la direzione stessa del filo, si ha equilibrio; si supponga la molecola nella posizione *M'*, allora il suo peso *M' G* può essere decomposto in due forze *M' C* ed *M' H*, delle quali, la prima è diretta secondo il prolungamento del filo ed è distrutta dalla resistenza di questo, l'altra, diretta secondo la tangente *M' H*, produce il movimento della molecola: Questa componente efficace è, evidente-

(1) Col pendolo si può misurare la latitudine e la longitudine di un dato luogo sulla terra; ed anche la sua altitudine, qualora non si avessero mezzi più precisi.

NOTA DEL TRADUTTORE.

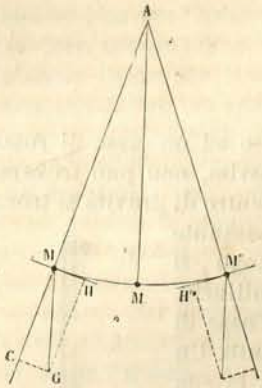


Fig. 89.

mente, tanto più grande, quanto più l'angolo $M' A M$ è grande. Il punto materiale si moverà dunque secondo l'arco di cerchio il di cui centro è in A e, man mano ch'esso si avvicinerà alla verticale $A M$, la forza che lo sollecita andrà diminuendo: quando è arrivato in M la forza è nulla; ma, in virtù della velocità aquisita, esso si eleverà dall'altra parte e subirà, in senso contrario, le azioni della gravità, quali si sono prodotte tra $M M'$. Perchè tutta la velocità impressa dalla gravità sia annullata, bisognerà, dunque, che la molecola si elevi fino in M'', punto situato alla stessa altezza di M'.

Da M'' essa ridiscende per eseguire, intorno alla verticale $A M$, una serie di oscillazioni di uguale ampiezza e, per conseguenza, di uguale durata. Quando l'ampiezza cambia, la durata dell'oscillazione cambia pure e nello stesso senso; però quando questa ampiezza sia assai piccola, quando essa, per esempio, non sorpassi i 10 o 15 gradi, si dimostra che le oscillazioni hanno, assai sensibilmente, la stessa durata; è questa la legge dell'*isocronismo* (91).

In questo caso particolare di oscillazioni di piccola, ampiezza la durata costante delle oscillazioni può esprimersi colla formola:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

nella quale, l è la lunghezza del pendolo, g l'accelerazione della gravità e π il rapporto della circonferenza al diametro. Da questa formula si deduce che, *la durata dell'oscillazione varia proporzionalmente alla radice quadrata della lunghezza del pendolo*, di modo che, se questa lunghezza diventa 4, 9, 16 volte più grande, la durata dell'oscillazione riesce pure 2, 3, 4 volte più grande.

122. Leggi sperimentali del movimento del pendolo. — Le leggi precedenti si riferiscono al pendolo semplice, vale a dire, ad un apparecchio ideale, però esse, entro certi limiti, si applicano al pendolo ordinario, che, per comparazione col pendolo semplice, dicesi *pendolo composto*. La scoperta delle leggi sperimentali del movimento del pendolo ha di molto preceduto la teoria; quella del pendolo è la prima e, si può dire, una delle più belle scoperte di Galileo; data dall'anno 1582, quando l'illustre scienziato aveva appena vent'anni. Si racconta che, trovandosi egli un giorno nel Duomo di Pisa, fosse colpito dalla regolarità delle oscillazioni di una lam-

pada sospesa alla vôlta, parendogli che queste oscillazioni, pur diminuendo di ampiezza, conservassero la stessa durata. Galileo sottopose il fatto a reiterate esperienze, che confermarono la giustezza del suo giudizio. Si possono facilmente verificare le leggi dell'isocronismo del pendolo, contando il tempo necessario al compiersi di un costante numero di oscillazioni; fatta l'osservazione, in momenti in cui l'ampiezza ne è differente, si trova che questo tempo è esattamente sempre lo stesso: la verifica si avrebbe anche colle più piccole oscillazioni, anche allorquando queste siansi rese tanto piccole, da non poterle discernere che colla lente.

La durata dell'oscillazione che, come si è visto, non dipende dall'ampiezza, non dipende nemmeno dalla materia di cui il pendolo è formato: da ciò si deduce facilmente il fatto che la gravità agisce colla medesima intensità su tutti i corpi.

Infatti delle piccole sfere uguali, di piombo, di rame, d'avorio, ecc., sospese all'estremità di fili di eguale lunghezza, oscillano nello stesso tempo, purchè esse abbiano abbastanza massa per vincere la resistenza dell'aria.

Si arriva così alla stessa deduzione ricavata dall'altra esperienza di Galileo sulla caduta dei corpi; se ne può concludere con certezza che, nel vuoto, questi diversi pendoli presenterebbero rigorosamente la stessa velocità di oscillazione.

Col mezzo di sfere sospese a fili di lunghezze differenti, Galileo riconobbe l'influenza della lunghezza del filo sulla durata della oscillazione, e pervenne a scoprirne la legge: constatò che, quando la lunghezza aumenta, la durata delle oscillazioni aumenta pure, non però proporzionalmente alla lunghezza del filo, bensì alla radice quadrata di questa lunghezza; vale a dire che, per una lunghezza quadrupla, la durata delle oscillazioni è doppia; è tripla per una lunghezza nove volte maggiore, e così di seguito. Così, sapendosi che la lunghezza del pendolo che batte i secondi a Parigi è di circa 1 metro ($0^m,994$), si ricava che un pendolo lungo 64 metri, eseguirebbe le sue oscillazioni in 8 secondi; è questa appunto, press' apoco, la lunghezza del pendolo stabilito da Focault al Panteon, a Parigi, nelle sue celebri esperienze sulla rotazione della terra (1).

Questa legge delle lunghezze scoperta da Galileo, è appunto quella che fornisce la formola del pendolo semplice e lo si capisce facilmente, giacchè, un apparecchio formato da una sferetta sospesa ad un filo sottile, può, in certo qual modo, essere assimilato ad un pendolo semplice. Quando però la forma del pendolo è diffe-

(1) Per Milano la lunghezza del pendolo che batte i secondi è di $0^m,9935...$; per Roma di $0^m,9932...$

NOTA DEL TRADUTTORE.

rente e più o meno complicata, per stabilire cosa intendesi per lunghezza del pendolo, bisogna ricorrere alla teoria meccanica dell'apparecchio: ecco qualche idea in proposito.

123. Pendolo semplice corrispondente. — Si dimostra in meccanica che, qualunque sia la forma del pendolo, si può sempre immaginare un pendolo semplice, oscillante sincronamente con quello; questo pendolo dicesi pendolo semplice *corrispondente* o *sincrono al dato pendolo composto.* Se, ad una distanza dall'asse di sospensione del pendolo composto, uguale alla lunghezza del pendolo semplice corrispondente, s'immagina una retta parallela all'asse stesso, si ha la retta conosciuta col nome di *asse di oscillazione*; questo asse può passare per il pendolo o fuori di esso; ciò dipende, dalla forma del corpo oscillante, dalle sue dimensioni, dalla maniera secondo cui varia la densità al suo interno e, finalmente, dalla posizione dell'asse di sospensione. In ogni caso, l'asse di oscillazione e l'asse di sospensione godono di una importante proprietà: se dopo aver di fatto oscillare il pendolo, intorno all'asse di sospensione, lo si fa oscillare intorno all'asse di oscillazione (se questo è esterno al corpo, si deve supporlo legato invariabilmente al corpo stesso), si trova che le oscillazioni sono rigorosamente della medesima durata. Questo fatto, scoperto da Huyghens, si esprime dicendo, che l'asse di oscillazione e l'asse di sospensione sono reciproci.

Da quanto precede risulta che le leggi del pendolo semplice sono applicabili ad un pendolo qualunque, quando s'intenda per lunghezza di questo, la lunghezza del pendolo semplice corrispondente, vale a dire la distanza tra l'asse di sospensione e l'asse di oscillazione (1).

124. Determinazione di g. — Dalla formula del pendolo semplice: $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, si deduce l'altra $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$ la quale mostra, che, per determinare il valore di g, basterebbe far oscillare un pendolo semplice e misurare esattamente t ed l. Si potrà usare di un pendolo composto, purchè, in luogo di l, si ponga la lunghezza del pendolo semplice corrispondente: questa lunghezza si può determinare per mezzo delle opportune formule date dalla meccanica; si può pure trar profitto della reciprocità degli assi di sospensione e di oscillazione, facendo uso del pendolo capovolgibile, la di cui prima idea è dovuta a Prony: questo apparecchio ha due coltelli

(1) A questa distanza si dà ordinariamente il nome di *lunghezza ridotta* del pendolo composto.

NOTA DEL TRADUTTORE.

di sospensione, uno fisso e l'altro mobile così, da poter essere fissato ai diversi punti di una scanalatura, sui lembi della quale è segnata una graduazione. Si fa dapprima oscillare il pendolo intorno all'asse fisso, quindi intorno all'altro, e, per tentativi, si trova la posizione in cui esso dev'essere fissato, onde l'oscillazione abbia la medesima durata in ambedue le posizioni del pendolo; la distanza tra i due spigoli dei coltelli è la lunghezza cercata del pendolo semplice corrispondente.

125. Variazioni dell'intensità della gravità. — Le molteplici esperienze fatte col pendolo alla superfice del globo, hanno mostrato che l'intensità della gravità varia da un punto all'altro della terra: a Parigi il valore di g è di $9^{m},8088$ (Borda); questo valore cresce coll'avvicinarsi ai poli e diminuisce coll'avvicinarsi all'equatore; queste variazioni non sono però considerevoli, come lo mostra la tavola seguente:

Intensità della gravità all'equatore	9,7815
Intensità della gravità ai poli.	9,8327
Accrescimento dall'equatore ai poli	0,0512
Intensità media della gravità	9,8061

Ne segue che il peso di un corpo non è lo stesso in qualunque parte del globo; esso varia nello stesso rapporto dell'intensità della gravità: vi sono casi nei quali è necessario di tener conto di queste variazioni; però nella maggior parte delle applicazioni, esse vengono trascurate.

126. Influenza della forza centrifuga. — La forza centrifuga influisce sulla gravità, giacchè i corpi, descrivendo un moto circolare intorno all'asse della terra, reagiscono contro la gravità con una forza uguale alla forza centrifuga da essi sentita; ne risulta quindi una diminuzione nel peso. All'equatore la forza centrifuga è direttamente opposta alla gravità e la diminuisce di tutto il suo valore: si trova col calcolo che questo valore è sensibilmente la 289^{a} parte di g, quindi cui la gravità all'equatore è diminuita di circa $\frac{1}{289}$ del suo valore. Osservando che 289 è il quadrato di 17 e, ricordandosi che la forza centrifuga varia proporzionalmente al quadrato della velocità, se ne deduce che, se la terra girasse con una velocità 17 volte maggiore, all'equatore i corpi non avrebbero peso alcuno. Mano mano che si va allontanandosi dall'equatore, da una parte la forza centrifuga diminuisce, giacchè è pure diminuita la velocità assoluta di rotazione; dall'altra la forza stessa non è più direttamente opposta alla gravità e questa non vien quindi diminuita che di una parte del valore della forza centrifuga: ciò riesce chiaro scomponendo la forza centrifuga in due componenti, l'una verticale e contraria quindi alla gravità, l'altra orizzontale, che non ha,

perciò, alcuna influenza. Per questo doppio motivo, la gravità deve riescire sempre meno diminuita e l'esperienza mostra come la gravità vada infatti crescendo dall'equatore ai poli. Si aggiunga che la forza centrifuga, non influisce solamente sull'intensità della gravità, ma ne modifica pure la direzione: l'angolo formato dalla verticale effettiva con quella che corrisponderebbe al medesimo punto, se la terra non ruotasse, cambia da una latitudine all'altra; a Parigi, dove il suo valore è presso a poco un massimo, quest'angolo è di 5 a 6 minuti.

127. Gravitazione universale. — La gravità non è che un caso particolare dell'*attrazione* o *gravitazione universale*. Newton, in seguito a ricerche continuate per più di venticinque anni, ha stabilito che il movimento dei pianeti intorno al sole, quello dei satelliti intorno ai pianeti, si potevano spiegare ammettendo tra questi diversi corpi una mutua attrazione, la quale, combinata con una impulsione iniziale, determina la traiettoria, generalmente elittica, che descrivono i differenti corpi celesti: questa attrazione *è proporzionale alla massa dei corpi agenti l'uno sull'altro, e varia in ragione inversa del quadrato delle distanze dei loro centri.* È noto come, per mezzo di questo sistema, gli astronomi, non solamente sono riesciti a spiegare tutte le particolarità del sistema solare, ma ben anche a calcolare e prevedere, con meravigliosa esattezza, le diverse posizioni dei corpi celesti ad un'epoca qualunque. Tutto ciò induce naturalmente a considerare la gravità come un caso particolare all'attrazione universale. La caduta di un corpo non è dunque che il risultato dell'attrazione che esercitano sopra di esso le diverse parti del globo terrestre; si hanno in proposito prove abbondanti: se la gravità è la risultante dell'attrazione terrestre, questa deve evidentemente, in causa della simmetria dell'azione, essere diretta secondo il raggio della terra; ciò è confermato in modo generale dall'esperienza. La meccanica dimostra che, non solamente l'attrazione di una sfera è diretta secondo il raggio di questa, ma è la stessa come se tutta la massa ne fosse riunita al centro: da ciò, e dal fatto che la terra è leggermente schiacciata ai poli, deriva che l'intensità della gravità, anche per questa circostanza, deve diminuire dai poli all'equatore.

128. L'ipotesi dell'attrazione spiega dunque tutti i fenomeni della gravità; si aggiunga che sulla superfice stessa della terra, si può provare la verità fisica dell'attrazione: infatti si è potuto constatare che il filo a piombo è deviato dalla vicinanza delle montagne; Cavendish, col mezzo di un apparecchio sensibilissimo, ha saputo mettere in evidenza l'attrazione esercitata da due grosse sfere di piombo, sopra sfere più piccole; da quest'azione, comparata a quella che esercita la terra sui corpi, egli ha potuto dedurre la densità media del globo, da lui determinata uguale a 5,5.

Dall'identità tra l'attrazione e la gravità, risulta che quest'ultima non è rigorosamente costante, come sembrerebbe provato dalle esperienze citate in proposito: infatti, mano mano che un corpo cade, la sua distanza dal centro della terra diminuisce, e la forza che lo sollecita aumenta. Le altezze ordinarie di caduta dei gravi sono così piccole rispetto al grado terrestre, da rendere inapprezzabili le variazioni della forza motrice. Non è più così quando si consideri un punto notevolmente lontano dalla superfice dalla terra; è, per esempio, facile di constatare la differenza dell'intensità della gravità alla cima ed alla base delle montagne.

Penetrando all'interno del globo, la legge d'attrazione diviene più complessa; se la terra fosse omogenea, l'attrazione dovrebbe diminuire in modo continuo, e si potrebbe dimostrare come, in qualunque punto, dovrebbe essere proporzionale alla distanza dal centro; ma la densità del globo va crescendo colla profondità; ciò si deduce dal fatto che la densità media è 5,5 circa, mentre la densità media degli strati superficiali non arriva a 3; e questo aumento di densità tende ad aumentare la forza attrattiva. La predominanza di una o dall'altra di queste azioni opposte, dipende dalla legge stessa secondo la quale varia la densità: l'esperienza ha mostrato che, nei primi strati, è la seconda azione quella che eccede. Il signor Airy, avendo determinata l'intensità della gravità al fondo di un pozzo di mina di 385 metri di profondità, la trovò maggiore di circa $\frac{1}{19190}$ del valore che ha alla superfice. Bisogna dunque ammettere che nell'interno del globo la gravità va aumentando fino ad una certa profondità; in seguito diminuisce, fino ad assumere lo stesso valore che ha alla superfice, e, continuando a diminuire, diventa poi nulla al centro, dove le forze attrattive si fanno mutuamente equilibrio.

CAPITOLO IV.

BILANCIA.

129. La bilancia è un istrumento che serve alla misura del peso dei corpi; essa è costituita, essenzialmente, da una leva rigida $A\ B$, detta *giogo*, mobile intorno ad un asse centrale O (fig. 90); questo asse riposa su di un piano d'appoggio orizzontale; siccome l'asse stesso si trova un po' al disopra del centro di gravità, il giogo si dispone in posizione di equilibrio stabile: questa posizione è, in

generale, segnata da un indice fissato perpendicolarmente al giogo, e la di cui estremità segna 0° su di un quadrante graduato, quando il giogo si trova in equilibrio. Questa condizione di equilibrio non verrà distrutta se, alle estremità del giogo, si sospendono due piatti della stessa natura, di egual forma e di eguali dimensioni; non lo sarà pure se nei piatti si pongono pesi uguali. Reciprocamente, se due corpi collocati nei due piatti si fanno equilibrio, ciò vuol dire che i loro pesi sono eguali; è questo il principio ben noto dell'uso della bilancia.

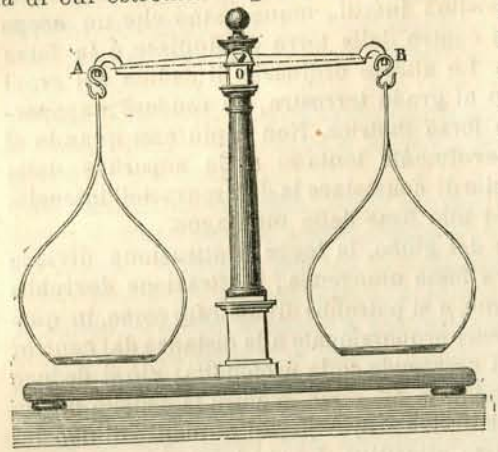


Fig. 90.

130. Esattezza della bilancia. — Onde questa conclusione sia giusta, è necessario che il giogo sia esattamente simmetrico rispetto al piano che passa per l' asse di sospensione, e che i piatti siano sospesi rigorosamente ad uguale distanza dall' asse, vale a dire, che i bracci di leva siano esattamente uguali. Si riscontrano queste condizioni, quando l'indice si dispone a zero, tanto a piatti vuoti come a piatti caricati di pesi uguali; se non si possiedono due pesi uguali, si pone un corpo qualunque in uno dei piatti e lo si equilibria con un altro corpo, posto nell'altro piatto; scambiando i corpi nei piatti, l'equilibrio dovrà nuovamente verificarsi. Se ciò non avesse luogo, i bracci di leva non sarebbero ugualmente lunghi.

L'eguaglianza nei bracci di leva è assai difficile a realizzarsi in pratica in modo rigoroso, perciò, quando occorra molta esattezza nelle pesate, si fa uso del metodo detto delle doppie pesate, il quale permette di ottenere esattamente il peso di un corpo, anche quando i bracci di leva fossero alquanto disuguali: questo metodo consiste nel tarare dapprima il corpo da pesarsi, per esempio, con pallini di piombo, e porre quindi, in luogo del corpo, i pesi segnati necessari a stabilire l'equilibrio: è chiaro che i pesi, trovandosi in eguali condizioni statiche del corpo, hanno un peso esattamente eguale al peso di questo (1).

(1) Si può anche fondarsi sul fattto che il peso di un corpo è medio proporzionale tra le pesate ottenute ponendo il corpo stesso successivamente nei due piatti. Sieno, infatti, a, e b le lunghezze dei bracci di una bilancia, x il peso

131. Sensibilità della bilancia. — Si dice che una bilancia è più o meno sensibile, a seconda che il suo giogo s'inclina più o meno sotto l'influenza di un peso determinato, posto in uno dei piatti. La sensibilità dipende anzitutto dall'attrito dell'asse sull'appoggio: nelle bilancie di costruzione accurata, questo asse è formato dallo spigolo di un prisma triangolare in acciaio assai duro, riposante sopra un piano, similmente d'acciaio o di agata; in tal modo, la rotazione avvenendo intorno ad un perno assai sottile e le sostanze in contatto essendo d'altronde molto dure, l'attrito riesce debolissimo.

Dal punto di vista meccanico, la sensibilità dipende dal peso del giogo, dalla sua lunghezza e dalla distanza del centro di gravità dell'asse di sospensione: il calcolo permette di stabilire l'influenza di questi diversi elementi. Nel caso in cui gli spigoli dei tre coltelli sieno paralleli e posti nel medesimo piano, il calcolo fornisce le tre seguenti condizioni:

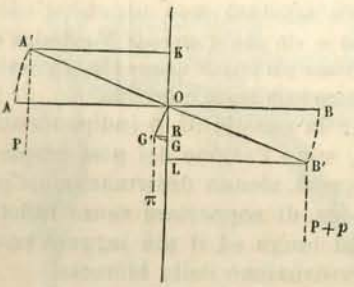


Fig. 91.

I° il giogo deve avere la maggior possibile lunghezza;

II° il giogo dev'essere il meno pesante possibile;

III° il centro di gravità del giogo deve trovarsi sempre al disotto dello spigolo del coltello ed il più possibilmente vicino allo spigolo stesso.

Sia $A\ B$ l'asse del giogo (fig. 91) O il punto di sospensione e G il centro di gravità: se in uno dei piatti, già caricati di pesi eguali, si pone un peso p, il giogo s'inclinerà e prenderà la posizione

del corpo, p e p' le due pesate: le condizioni di equilibrio nelle due prove sono:

$$p : x = a : b$$
$$x : p' = a : b$$

relazioni dalle quali si ottiene:

$$p : x = x : p'$$

come si era dichiarato. Se ne deduce poi:

$$x = \sqrt{pp'}.$$

Quando non occorra una scrupolosa esattezza si può, in vista della sempre piccola differenza tra la lunghezza delle braccia, ritenere x uguale alla media aritmetica delle due pesate, vale a dire:

$$x = \frac{p + p'}{2}.$$

Sieno, per esempio, in un caso anche un po' spinto, $p = 9,^{gr}60$, $p' = 10,^{gr}42$, sarà

$$x = \sqrt{9,6 \times 10,42} = 10,^{gr}001\ldots; \qquad x = \frac{9,60 + 10,42}{2} = 10,^{gr}01$$

NOTA DEL TRADUTTORE.

A' B', girando di un angolo α facile da calcolarsi. Infatti in A' e B' agiscono rispettivamente le forze P e $P + p$, P essendo il carico comune alle due estremità, compresavi il peso dei piatti. Le due forze P si equilibrano mutuamente per la resistenza dell'asse O; rimane da considerarsi dunque la sola forza p applicata in B' ed il peso π del giogo, applicato in G', nuova posizione del centro di gravità. Queste due forze sono parallele e si fanno equilibrio per l'intermezzo dell'asse O, vale a dire, che la loro risultante passa per il punto O: le distanze di questo punto ai punti d'applicazione delle forze devono dunque essere inversamente proporzionali alle forze stesse (71); si ha dunque la relazione:

$$\pi \times G' R = p \times B' L$$

ma, posta l la metà della lunghezza del giogo ed r la distanza $O G$, si ha:

$$G' R = r \, sen \, \alpha \, ; \; B' L = l \cos \alpha$$

e quindi:

$$\pi \, r \, sen \, \alpha = p \, l \cos \alpha$$

da cui:

$$tang \, \alpha = \frac{p \, l}{\pi \, r} \qquad \text{(a)}$$

La formula (a) contiene tutta la teoria della sensibilità della bilancia; si vede prima di tutto che *tang* α aumenta col peso p, ciò che d'altronde è evidente *a priori;* si vede inoltre che la sensibilità è tanto più grande quanto più l è grande e π è piccolo; vale a dire, quanto più il giogo sarà lungo e leggero.

Aggiungasi che, nell'ipotesi fatta, la sensibilità è indipendente dalla carica. È però necessario che, sotto l'azione dei pesi impiegati, il giogo sia invariabile e non provi alcuna deformazione. Costruire un giogo che, essendo capace di sopportare senza inflettersi l'azione di forze date, sia il più lungo ed il più leggero possibile è dunque il problema della costruzione della bilancia.

Fortin, che ha costruite delle bilancie stimate, usava pe' suoi gioghi dei regoli di acciaio posti in costa; egli otteneva così una grande rigidità, ma non tutta la leggerezza desiderabile. Attualmente i costruttori fanno uso di preferenza di gioghi in rame od acciaio vuoto (fig. 92), ai quali danno spesso la forma di una losanga assai allungata i di cui lati sono riuniti da traverse diversamente disposte: è questa una applicazione, su piccola scala, del principio di meccanica applicata, che, ad uguaglianza di peso, resistono maggiormente i pezzi vuoti che non i pezzi pieni, e quindi, ad eguaglianza di resistenza, quelli sono più leggeri dei secondi. L'alluminio, riunendo ad una rigidità comparabile a quella del rame, una densità quattro volte circa più piccola riesce assai indicato per la costruzione dei gioghi: ciononostante se ne fa poco uso, vuoi in causa del suo prezzo assai elevato, vuoi perchè non presenta quel grado d'inalterabilità che dapprincipio gli si era attribuito.

Il calcolo mostra che la sensibilità di una bilancia è tanto più grande quanto più il centro di gravità è vicino al centro di so-

spensione: questi due punti non devono però mai coincidere, giacchè, in questo caso, qualunque fosse l'eccedenza di peso, il giogo s'inclinerebbe sempre tanto quanto lo permetterebbe il meccanismo; non si avrebbe così alcun mezzo di apprezziazione sul peso; la bilancia si dice, in tal caso, *indifferente*. Dire poi che la distanza tra il centro di gravità ed il punto di sospensione non deve essere nulla, vale quanto dire ch' essa non deve essere troppo piccola, giacchè, fisicamente parlando, le due condizioni sono identiche. In fatto, tale distanza è determinata dal valore, in peso, corrispondente alle divisioni dell'arco graduato su cui si muove l'indice; se per esempio vi sono 20 divisioni da una banda e dall'altra dello zero e occorrono 2 milligrammi per lo spostamento totale dell'ago, ognuna delle divisioni corrisponderà

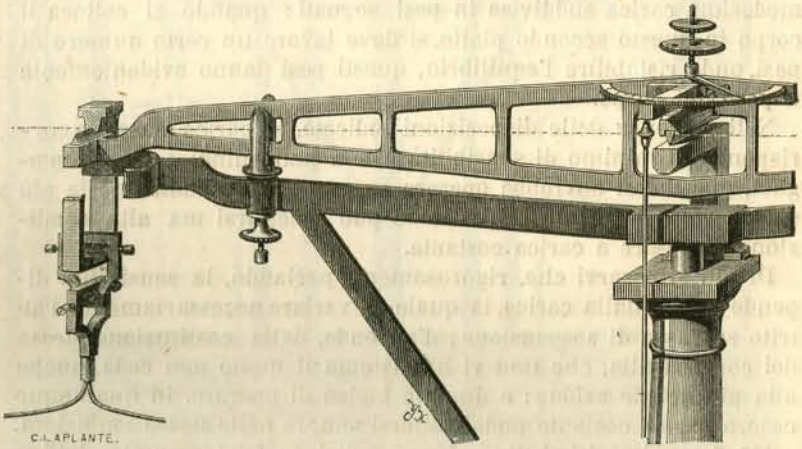


Fig. 92.

ad una eccedenza di peso di $\frac{2}{20}$ ossia $\frac{1}{10}$ di milligrammo: a tale condizione corrisponde una distanza determinata del centro di gravità dall'asse di sospensione; il costruttore arriva a regolare con precisione questa distanza per mezzo del galletto, che vedesi nella figura al disopra del giogo, e per mezzo del quale si può far variare di piccole quantità la posizione del centro di gravità.

Si è supposto che i tre punti di sospensione del giogo e dei piatti fossero in linea retta; tale condizione rende la sensibilità indipendente dalla carica e devesi al fatto, che la risultante dei due pesi uguali posti nei piatti è distrutta dalla resistenza dell'asse. Diversamente accadrebbe se, per esempio, i punti di sospensione dei piatti fossero al disopra di quelli del giogo; in questo caso, il

punto d'applicazione della carica comune, si trova al disopra dello spigolo d'appoggio e, quando il giogo s'inclina, la carica agisce nello stesso senso dell'eccedenza di peso; la sensibilità aumenta dunque colla carica: diminuisce invece quando i punti di sospensione dei piatti sono al disotto di quello del giogo. Queste variazioni della sensibilità colla carica, costituiscono un grave inconveniente, giacchè, come si è detto, si può servirsi degli spostamenti dell'indice per valutare il peso; ma perciò è necessario che uguali spostamenti corrispondano ad uguali eccessi di peso. In qualunque delle due disposizioni precedenti, bisognerebbe pesare sotto carica costante: questo metodo, che costituisce una specie di doppia pesata, consiste nel collocare in uno dei piatti un peso uguale alla carica massima (portata); nell'altro piatto si trova la medesima carica suddivisa in pesi segnati: quando si colloca il corpo in questo secondo piatto, si deve levare un certo numero di pesi, onde ristabilire l'equilibrio, questi pesi danno evidentemente il peso del corpo.

Nella seconda delle disposizioni indicate, la carica massima corrisponde al minimo di sensibilità e non può quindi essere impiegata, giacchè si dovrebbe operare sempre nella condizione la più sfavorevole; la prima disposizione può accettarsi ma alla condizione di pesare a carica costante.

Di più si osservi che, rigorosamente parlando, la sensibilità dipende anche dalla carica, la quale fa variare necessariamente l'attrito sull'asse di sospensione; d'altronde, dalla costituzione stessa dei corpi risulta, che non vi ha sistema il quale non ceda, anche alla più debole azione: è dunque logico di operare, in qualunque caso, a carica costante onde mettersi sempre nelle stesse condizioni.

132. Sospensione dei piatti. — Una condizione fondamentale dell'esattezza della bilancia si è che, il peso dei piatti e del carico ch'essi contengono, agisca sempre sullo stesso punto ed alla stessa distanza dall'asse di sospensione: questo importante risultato si ottiene in diversi modi; la disposizione rappresentata dalla figura 92 è una delle più razionali. Il giogo presenta, alle sue estremità, due coltelli paralleli all'asse di rotazione, i di cui spigoli sono vôlti verso l'alto; sopra questi coltelli si appoggia, per una superfice piana e dura, d'agata o di acciaio, una staffa, della quale, nella figura, è stata levata la parte anteriore. Sulla parte inferiore della staffa riposa un altro coltello, facente parte di un sistema al quale si articola liberamente la parte superiore del bacino: con questa disposizione, qualunque sia la posizione dei pesi, la loro azione si riduce sempre ad una forza verticale agente alla parte superiore dello spigolo del giogo.

La figura 93 rappresenta una bilancia di precisione chiusa nella

propria custodia di vetro: al basso si vede l'estremità di una leva destinata a sollevare il giogo durante le pesate; questa disposizione ha per iscopo di non affaticare i coltelli, quando non si fa uso dell'apparecchio. Alla parte superiore si vede un piccolo meccanismo, usato da qualche costruttore; eccone le disposizioni: alla parte anteriore del giogo si trova un cerchio orizzontale gra-

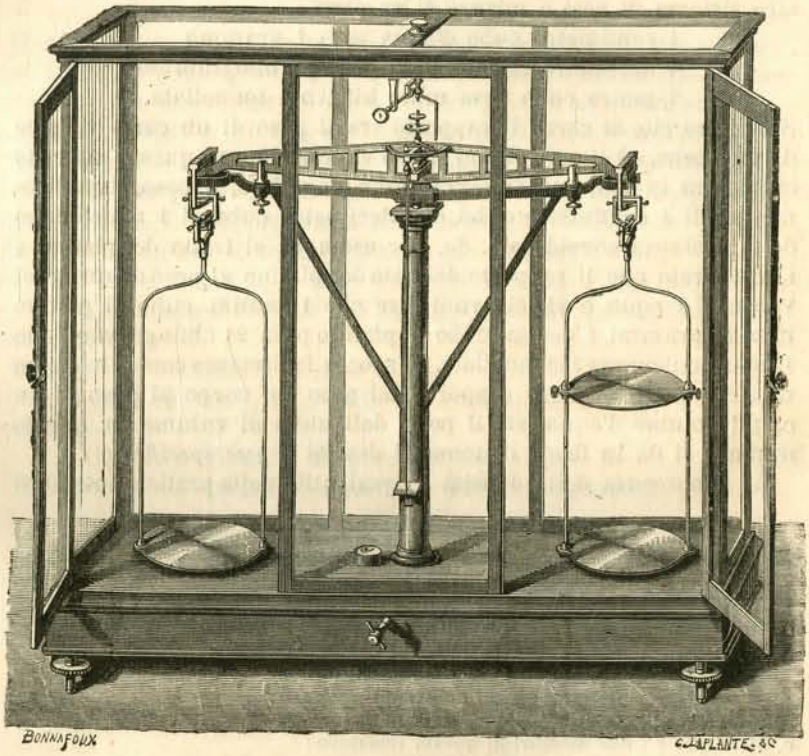


Fig. 93.

duato, sul quale si può far muovere un piccolo indice metallico, destinato, coi suoi spostamenti, a stabilire definitivamente l'equilibrio; tali spostamenti corrispondono a differenze di peso, delle quali si stabilisce il valore una volta per tutte.

133. Densità. — Se si pesano i differenti corpi sotto ugual volume, si trova che essi hanno pesi differenti: così, per esempio, mentre 1 litro d'aqua pesa 1 chilogrammo, 1 litro di mercurio pesa 13 kil., 6, un litro d'alcool 0 kil., 79 ecc.; questo fatto si esprime dicendo che i diversi corpi hanno differenti densità. È assai importante la co-

noscenza del *peso specifico* di ogni sostanza; giacchè questo è un elemento fondamentale della loro costituzione fisica; si sono perciò fatte delle tavole contenenti, per esempio, il peso di 1 litro di ciascuna sostanza: per ottenere tal peso, basterebbe pesare un volume conosciuto di ciascuna sostanza e dividere il peso ottenuto pel volume; si avrebbe così il peso dell'unità di volume. Si può pure arrivarvi per tutt'altra via: secondo le convenzioni del nostro sistema di pesi e misure si sa che:

1 centimetro cubo d'aqua pesa 1 grammo
1 decimetro cubo o litro pesa 1 chilogrammo
1 metro cubo pesa mille kilg. o 1 tonnellata.

Se, dietro ciò, si cerca il rapporto tra il peso di un certo volume di un corpo, ed il peso di uno stesso volume d'aqua, questo rapporto esprimerà in grammi, chilogrammi o tonnellate, il peso, rispettivamente, di 1 centimetro cubo, di 1 decimetro cubo, di 1 metro cubo della sostanza considerata. Se, per esempio, si tratta del platino e si è trovato che il rapporto del peso del platino al peso di un egual volume d' aqua è 21, ciò vuol dire che 1 centim. cubo di platino pesa 21 grammi, 1 decim. cubo di platino pesa 21 chilogrammi, che 1 metro cubo pesa 21 tonnellate. Si scorge facilmente come, lo stesso numero esprime, sia il rapporto del peso del corpo al peso di un egual volume d'aqua, sia il peso dell' unità di volume: a questo numero si dà in fisica il nome di *densità* o *peso specifico* (1).

La conoscenza della densità è assai utile nella pratica, potendosi

(1) Al significato dei vocaboli *densità* e *peso specifico* si può applicare quanto è detto (119) intorno al significato dei vocaboli *masse* e *peso*. Per densità intendesi il rapporto tra la *massa* ed il *volume* di un corpo, ossia la massa dell'unità di volume; per peso specifico, invece, si intende il rapporto tra il *peso* ed il *volume* di un corpo, ossia il peso dell'unità di volume.

Sia P il peso di un corpo, m la sua massa, v il suo volume; d la densità, p il peso specifico della sostanza di cui è fatto il corpo; si avrà:

$$P = m\,g$$

e, divisi per v i due membri di questa relazione:

$$\frac{P}{v} = \frac{m}{v}\,g$$

ossia:

$$p = d\,g$$

Per un'altro corpo di sostanza differente, posto in un luogo diverso sulla terra, si avrà analogamente:

$$p' = d'\,g'$$

e quindi:

$$\frac{p}{p'} = \frac{d}{d'} \cdot \frac{g}{g'}$$

Relazione la quale mostra che, solamente per corpi considerati nello stesso luogo, è uguale il rapporto tra le densità ed i rispettivi pesi specifici.

NOTA DEL TRADUTTORE.

con essa determinare il volume di un corpo, quando se ne conosce il peso, o reciprocamente. Se, infatti, P è il peso di un corpo e V il suo volume, il peso dell'unità di volume è $\frac{P}{V}$: si indichi con D questo peso, il quale non è altro che il peso specifico, si avrà: $\frac{P}{V} = D$ da cui:

$$P = V D$$

In questa formula, le unità che servono a valutare il peso ed il volume sono qualunque, ma P e D devono essere necessariamente espressi colla medesima unità: se, in conformità al nostro sistema di pesi e misure, si prende per unità di peso il peso dell'unità di volume d'aqua, D rappresenterà il rapporto tra il peso dell'unità di volume del corpo ed il peso dell'unità di volume dell'aqua, o, più generalmente, il rapporto tra il peso di un certo volume del corpo, ed il peso di un egual volume d'aqua; ne consegue che, nei risultati dati dalla formola, il peso ottenuto, è sempre espresso nelle unità rappresentanti il peso dell'acqua contenuta nell'unità di volume adottata.

Esempio I.° — Qual è il peso di una massa di granito del volume di 84 metri cubi, la densità del granito essendo 2,75? — La ormola dà:

$$P = 84 \times 2.75 = 231 \text{ tonnellate.}$$

Esempio II.° — Qual è il volume di 1000 chilogrammi di mercurio, 13,6 essendo il peso specifico di questo?

$$V = \frac{1000}{13,6} = 73^{\text{lit}},\ 5.$$

134. Determinazione della densità. — Per determinare la densità di

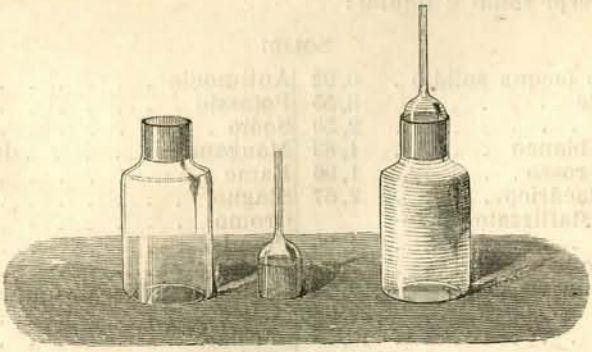


Fig. 94.

Fig. 95.

un solido, s'incomincia dal pesarlo; sia, per esempio, 10 grammi il suo peso: lo si colloca in seguito sopra uno dei piatti di una bilancia, a fianco ad una boccetta a larga bocca, di forma analoga a quella rappresentata dalla figura 94, ed esattamente piena d'aqua; si stabilisce l'equilibrio ponendo della zavorra nell'altro piatto. Ciò fatto, s'introduce il corpo nella boccetta, dalla quale, naturalmente, esce un volume d'aqua eguale a quello del corpo: si chiude la boccetta, osservando ch'essa sia ben riempita come dapprincipio, la si asciuga diligentemente e la si ricolloca sul piatto; l'equilibrio non ha più luogo e, per ristabilirlo, si devono porre sul piatto stesso, per esempio, 2 gr., 5; è questo il peso di un volume d'aqua uguale a quello del corpo; il peso specifico di quest'ultimo è dunque $\frac{10}{2,5} = 4$.

Per determinare la densità di un liquido, si fa uso di una boccetta (fig. 95) terminata superiormente da un tubo stretto, sul quale è segnato un punto di riscontro. Tarata che sia la boccetta vuota, la si riempie, successivamente, del liquido e di aqua fino al punto di riscontro; si determina così il peso di un ugual volume di aqua e del liquido di cui si vuol determinare la densità. Il quoziente del secondo peso pel primo fornisce la densità cercata. Il riempimento della boccetta presenta qualche difficoltà in causa del piccolissimo diametro del tubo: perciò si usa ordinariamente di mettere un po' di liquido nell'imbuto che termina il tubo alla parte superiore e si esercita pressione col tappo; questa pressione in generale è sufficiente per far entrare il liquido nella boccetta.

Questi due metodi di determinazione dei pesi specifici sono suscettibili di molta precisione. La tavola seguente dà le densità di alcuni corpi solidi e liquidi:

SOLIDI

Ghiaccio (acqua solida)	0,92	Antimonio	6,72
Diamante	3,55	Potassio	0,86
Grafite	2,50	Sodio	0,972
Fosforo bianco	1,83	Manganese	da 7 a 8
Fosforo rosso	1,96	Rame	8,8
Solfo ottaedrico	2,67	Stagno	7,291
Solfo cristallizzato per fusione	1,96	Cromo	5,90
Solfo molle	1,92	Piombo	11,445
Selenio	4,28	Bismuto	9,82
Oro	20,688	Silice cristallizzata (quarzo)	2,653
Argento	10,56	Calce	3,15
Platino	da 21 a 22	Acciaio	7,83
Arsenico	5,67	Ghisa	7,05
		Bronzo da cannoni	9,235

Ottone	8,427	Carboni di	Quercia	1,53
Vetro comune	2,527		Pioppo	1,45
Cristallo	3,330		Salice	1,55
Porcellana	2,242		Tiglio	1,46
Alabastro	2,758		Ontano	1,48
Marmi	da 2 65 a 2,75		Quercia	0,610
Mattoni duri	1,56		Pioppo	0,387
Giavazzo	1,305		Salice	0,487
Asfalto	1,063		Tiglio	0,604

LIQUIDI

Acqua di mare	1,026	Essenza di terebenteno	0,87
Bromo	2,96	Essenza di cedro	0,85
Mercurio	13,596	Essenza di mandorle amare	1,043
Acido solforico a 66°	1,84	Nicotina	1,024
Acido azotico concentrato	1,52	Vino di Bordeaux	0,996
Acido cloridrico concentrato	1,21	Vino di Borgogna	0,925
Acido acetico cristallizzabile	1,17	Vino del Reno	0,99
Olio d'ulivo	0,919	Vino di Malaga	1,070
Alcool assoluto	0,80	Sangue (uomo)	1,055
Etere	0,73	Latte di vacca	1,03
Spirito di legno	0,82	Urina (uomo)	1,02
Benzina	0,85		
Olio di Nafta	0,84		

LIBRO PRIMO

PARTE SECONDA — IDROSTATICA

CAPITOLO V.

PRINCIPII DI IDROSTATICA.

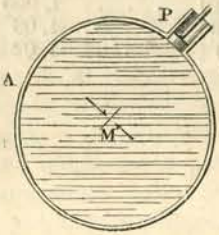


Fig. 96.

135. Trasmissione delle pressioni. — La costituzione speciale dei liquidi (7) dà origine ad osservazioni importanti intorno alla natura ed alla trasmissione delle pressioni in questa classe di corpi. Se s'imagina praticata un' apertura P in un vaso A (fig. 96) pieno di un liquido, e, per mezzo di uno stantuffo, si eserciti sul liquido stesso una certa pressione, questa pressione avrà per effetto di avvicinare le molecole e di provocare, di conseguenza, una reazione ripulsiva tra di esse: questo effetto producendosi in tutta la massa, ne segue che ciascun punto delle pareti verrà premuto, come se, l' unica pressione, si trasmettesse in tutte le direzioni. Questa specie di irradiazione delle pressioni nei fluidi in generale, costituisce un carattere distintivo, del quale si fa continuamente applicazione.

La pressione esercitata in P, non si manifesta solamente sulle pareti, ma benanche in tutti i punti della massa liquida: una piccola lamina piana M risentirà, sulle sue due faccie, pressioni uguali e contrarie. Importa di osservare che, in causa dell'omogeneità del liquido, queste pressioni non cambieranno di valore al cambiare di posizione della lamina nella massa liquida, non essendovi alcun motivo perchè la pressione sia più grande in un senso che in un'altro.

136. Direzione delle pressioni. — La stessa ragione di simmetria, induce a stabilire che, in ciascun punto, le pressioni si esercitano perpendicolarmente alle superfici premute; giacchè, ammessa una ragione perchè esse dovessero essere inclinate in un dato senso,

ve ne sarebbe un' altra perchè lo dovessero essere in qualunque altro senso. Si può dimostrare questo importante fatto nel seguente modo: sia M un punto della parete (fig. 97), se la pressione PM non fosse normale alla parete, si potrebbe decomporla in due forze, una MN normale alla parete, la quale verrebbe distrutta dalla resistenza della parete stessa, l'altra diretta secondo la parete, avente per effetto di far scorrere la molecola liquida situata in M, che serve di organo di trasmissione alla pressione; il liquido, contrariamente al fatto, non sarebbe dunque in equilibrio: le pressioni devono dunque necessariamente esser, in ciascun punto, normali alla parete. Sperimentalmente si può, se non dimostrare rigorosamente, almeno rendere sensibile, per mezzo della seguente esperienza, il fatto della normalità, delle pressioni trasmesse alle pareti. Con uno stantuffo moventesi in un tubo comunicante con una sfera forata in diversi punti della sua superfice (fig. 98), si comprime il liquido che riempie la sfera stessa; lo si vede allora zampillare dai fori in filetti affettanti una forma curvilinea, dovuta alla gravità, i quali, però, alla loro origine sono perpendicolari alla superfice della sfera: il fatto è tanto più sensibile, quanto più grande è la pressione esercitata.

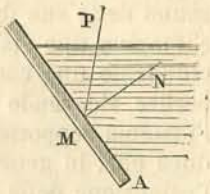


Fig. 97.

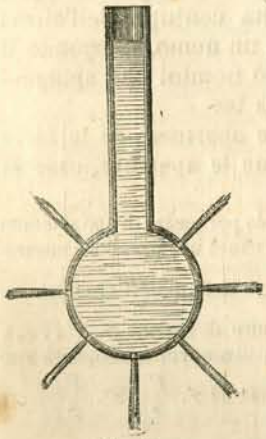


Fig. 98.

137. Principio di Pascal o dell'uguaglianza di trasmissione delle pressioni in tutti i sensi. — Se in un punto P della parete di un vaso A (fig. 99) pieno di liquido, si esercita, per mezzo di uno stantuffo di 1 centimetro quadrato di superfice, una certa pressione, ogni centimetro quadrato di parete sopporterà una pressione uguale a quella esercitata dallo stantuffo: se dunque, in un punto qualunque, si pratica un'apertura di 1 centimetro quadrato di superfice e la si chiude con uno stantuffo, per impedire a questo di muoversi, bisognerà applicargli, dall'esterno all'interno, una pressione uguale a quella applicata direttamente allo stantuffo P. Una lamina della stessa

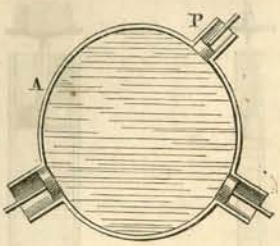


Fig. 99.

superfice, posta in qualunque modo nel liquido, proverà, sopra ciascuna delle sue due faccie, la pressione stessa. Ne risulta che, se s'imagina uno stantuffo della superfice di 2 centimetri quadrati, chiudente una corrispendente apertura, ciascun centimetro di superfice ricevendo una pressione uguale a quella agente sopra P, l'insieme sopporterà una pressione doppia: da ciò facilmente si deduce che, in generale, la pressione trasmessa è proporzionale all'estensione della superfice premuta.

È sotto questa forma che Pascal ha enunciato il principio nel suo celebre trattato dell'*Équilibre des liqueurs*. « Se un vaso pieno d'aqua, chiuso da ogni parte, ha due aperture, l'una centupla dell'altra: mettendo a ciascuna uno stantuffo a tenuta, un uomo, spingendo il piccolo stantuffo, uguaglierà la forza di 100 uomini che spingessero quello 100 volte più largo e ne vincerà 99.

« E, qualunque proporzione abbino queste aperture, se le forze che si metteranno sugli stantuffi stanno come le aperture, esse si faranno equilibrio (1). »

Sia, in generale, P la pressione esercitata su di un liquido per mezzo di uno stantuffo di area S; l'unità di superfice di questo stantuffo eserciterà una pressione misurata da $\frac{P}{S}$ e, di conseguenza, ciascuna unità di superfice delle pareti risentirà una pressione a questa uguale: se si praticano diverse aperture di sezione S', S'' .... e le s'imaginano chiuse con stantuffi, per impedire a questi di muoversi, bisognerà loro applicare delle forze P', P'' ..... uguali rispettivamente ad $S'.\frac{P}{S}$; $S''.\frac{P}{S}$ ....; ne conseguono le seguenti uguaglianze:

$$P' = S'.\frac{P}{S};\ P'' = S''.\frac{P}{S} \ldots\ldots \text{ ossia: } \frac{P}{S} = \frac{P'}{S'} = \frac{P''}{S''} \ldots\ldots$$

138. Il principio di Pascal conduce ad una conseguenza, che si potrebbe cercar di verificare sperimentalmente. S'imagini un sistema di due tubi (fig. 100) comunicanti fra loro, di sezioni diseguali e contenenti un liquido; alla superfice del liquido, in ciascun tubo, si trovi uno stantuffo; se si esercita una pressione P sullo stantuffo minore, questa si trasmetterà allo stantuffo maggiore, sul quale, onde equilibrare la pressione trasmessagli, bisognerà esercitare una pressione, avente con P lo stesso rapporto che passa tra l'area del maggiore stantuffo e quella del minore.

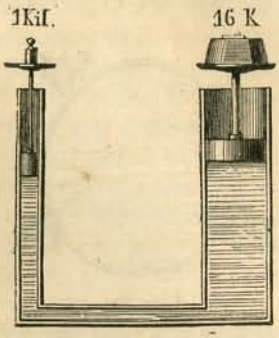


Fig. 100.

(1) Pascal — *Traité de l'équilibre des liqueurs*, Cap. II°.

Se, per esempio, il primo ha una sezione 16 volte più grande dell'altro, una pressione di 1 chilogrammo esercitata sul minore stantuffo, svilupperà una pressione di 16 chilogrammi sull'altro. Si vede dunque che, con una piccola forza, se ne può produrre una assai considerevole; è questo il principio del torchio idraulico. Si osservi però che, se si tratta di produrre effettivamente una pressione, i due stantuffi dovranno spostarsi e quindi, in causa della differenza di sezione, se lo stantuffo minore percorre un certo spazio, lo stantuffo maggiore percorrerà uno spazio 16 volte minore; dimodochè, in questo apparecchio, si verifica direttamente il principio generale di meccanica: *Ciò che si guadagna in forza, si perde in velocità* (57).

Questa doppia osservazione venne chiaramente enunciata da Pascal, il quale continua il brano citato, nel seguente modo: « Da ciò appare che un vaso pieno d'acqua è un nuovo principio di meccanica ed una nuova macchina per moltiplicare le forze a piacimento, poichè un uomo, con questo mezzo, potrà sollevare qualunque carico gli venga proposto.

« Ed è ammirabile come, in questa nuova macchina, si riscontri il principio costante che si trova in tutte le antiche, vale a dire: la leva, il tornio, la vite, ecc., cioè che lo spazio aumenta nella stessa proporzione della forza; poichè è evidente che, siccome una di queste aperture è centupla dell'altra, se l'uomo che spinge lo stantuffo minore lo abbassasse di un pollice, non respingerebbe l'altro che solamente della centesima parte. »

Il principio di Pascal non potrebbe essere che grossolanamente verificato coll'eseguire la precedente esperienza; ciò devesi al notevole attrito che gli stantuffi, i quali devono essere a perfetta tenuta, risentono scorrendo lungo le pareti. Una verificazione ancora meno soddisfacente si avrebbe, se si volesse realizzare l'esperienza descritta (137), giacchè in essa, oltre la causa d'errore sopra indicata, devesi tener conto dell'azione della gravità, la quale produce, per sè stessa, delle pressioni variabili sulle diverse aperture, a seconda della loro profondità nel liquido. In realtà il principio di Pascal è un principio astratto, una specie di sintesi generale dei fenomeni, e non può essere l'oggetto di una dimostrazione particolare: l'autorità e la legittimità del principio sono stabilite dal costante accordo delle conseguenze che da esso derivano; in tutto ciò che segue si vedrà come questo accordo sia completo e non soffra alcuna eccezione.

139. Principio fondamentale d'equilibrio nei liquidi pesanti. — Strati di livello. — Il principio di Pascal è una conseguenza generale della costituzione dei liquidi ed è indipendente dall'azione della gravità: quando si consideri quest'ultima forza, si arriva a risultati parti-

colari. Il più importante fra questi, che può essere considerato come la regola fondamentale dell'idrostatica, è, che *i diversi punti di uno strato orizzontale di un liquido pesante sono sottoposti a pressioni uguali.*

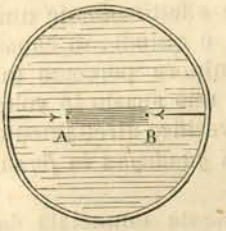


Fig. 101.

Si considerino, infatti, due punti A e B di una massa liquida (fig. 101) e si supponga che questi punti siano centri di due piccole superfici piane verticali, e quindi parallele; tali superfici si possono considerare come le basi di un sottilissimo cilindro orizzontale di liquido: trovandosi questo cilindro in equilibrio nella massa liquida, se ne deve conchiudere che le sue basi A e B risentono, nei sensi delle freccie, pressioni uguali e contrarie, giacchè le altre pressioni, perpendicolari alle generatrici, non possono influire sull'equilibrio nel senso orizzontale. I due elementi A e B sopportano dunque un'egual pressione in sensi determinati; ma questa pressione è, d'altra parte, la stessa in qualunque senso (132). I punti A e B sono punti qualsiasi della superfice, questa dunque sopporta in ogni suo punto delle pressioni uguali. Aggiungasi, come conseguenza, che la densità è pure costante in tutte le parti dello strato orizzontale. In causa della debolissima compressibilità dei liquidi, la variazione di densità riesce pochissimo sensibile; il risultato precedente però è vero per qualunque fluido pesante, qualunque sia il suo grado di compressibilità. Si dà, in generale, il nome di strati di livello di un liquido, agli strati i di cui punti sopportano uguali pressioni; da quanto precede si deduce che, in causa dell'azione della gravità sul liquido, gli strati di livello sono superfici orizzontali.

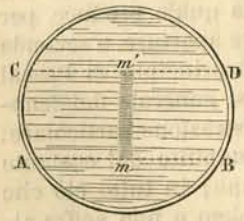


Fig. 102.

Da uno strato orizzontale all'altro la pressione aumenta o diminuisce, a seconda che la profondità dello strato stesso aumenta o diminuisce; infatti, se si considera nel piano di livello $A\,B$ (fig. 102) un elemento orizzontale m e s'imagina il cilindro verticale $m\,m'$ elevantesi fino allo strato di livello $C\,D$, egli è chiaro che, indipendentemente dalla pressione sopportata da m', la quale si trasmette integralmente ad m, quest'ultimo elemento sopporta in più, una pressione uguale al peso del cilindro liquido $m\,m'$. Se s è l'area dell'elemento m, h la distanza dei due strati di livello e d la densità del liquido, il volume del cilindro ha per

misura $s\ h$ e per peso $s\ h\ d$: quest'ultima espressione rappresenta dunque la variazione di pressione sopra un elemento di area s quando la sua profondità varia di una quantità h.

140. Superfice libera. — Da quanto precede consegue, che la superfice libera di un liquido pesante deve essere orizzontale: di questo fatto importante si è già data una dimostrazione sperimentale e, del resto, tal fatto lo si può stabilire *a priori*. Sia infatti $C\ D$ (fig. 103) la superfice libera di un liquido, m ed m' due elementi di superfice uguali, considerati nello strato orizzontale $A\ B$: questi due elementi devono sopportare uguali pressioni, misurate rispettivamente dal peso dei due cilindri liquidi $m\,n, m'\,n'$; questi dunque devono necessariamente avere la stessa altezza, ciò che equivale al dire che i punti n ed n' si devono trovare nello stesso piano orizzontale.

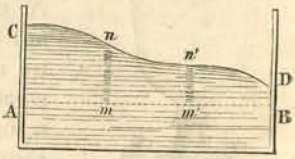


Fig. 103.

Si giunge alla stessa conclusione osservando che se, in un punto qualunque, la superfice M non fosse orizzontale, si potrebbe decomporre il peso della molecola liquida M (fig. 104) in due forze, una perpendicolare alla superfice, l'altra a questa tangente: la prima componente non avrebbe altra azione che quella di comprimere il liquido e verrebbe distrutta dalla reazione di questo; la seconda, invece, produrrebbe il movimento della molecola; l'equilibrio, dunque, non può esistere che colla condizione che la seconda componente sia nulla, vale a dire che, in qualunque punto, la superfice libera sia orizzontale. Questo ragionamento mostra come, in generale, in una massa liquida sottoposta all'azione di diverse forze, *perchè vi sia equilibrio, è necessario che, in ogni punto, la superfice libera del liquido sia perpendicolare alla risultante delle forze rispettivamente agenti nei punti stessi.* Se, per esempio, per mezzo dell'apparecchio che serve alle dimostrazioni sulle leggi della forza centrifuga, s'imprime un movimento di rotazione ad un vaso contenente un liquido (fig. 105), la superfice di questo si incaverà affettando una forma curvilinea: in questo caso, infatti, ciascuna delle molecole è simultaneamente sottoposta all'azione della gravità ed a quella della forza centrifuga, ed è appunto alla risultante di queste due forze che la superfice libera deve essere normale in ciascun suo punto. Si può facilmente dimostrare come questa superperfice deve essere un paraboloide di rivoluzione, dimodochè la sezione rappresentata dalla figura è una parabola.

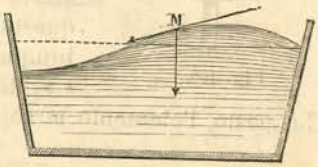


Fig. 104.

141. Pressione sul fondo dei vasi. — Si consideri un liquido pesante, posto in un vaso il di cui fondo sia *piano ed orizzontale;* sarà facile di valutare la pressione che il liquido esercita sul fondo stesso. Sia $A\ B\ M\ N$ (fig. 106) un vaso contenente un liquido fino al livello $M\ N$, ed m un elemento superficiale considerato sul fondo $A\ B$: sopra m per base, si elevi un cilindro verticale, fino ad incontrare lo strato di livello $L\ L'$. Al disopra dell'elemento n, uguale ad m, preso nello strato $L\ L'$, s'imagini il cilindro verticale che incontra in n' lo strato di livello $R\ R'$. Ugualmente si costruisca il cilindro verticale che, elevandosi al disopra dell'elemento r, uguale ad m, incontri lo strato $S\ S'$ in r'; evidentemente, continuando questa costruzione, si arriverà sempre, qualunque sia la forma del vaso, ad un cilindro $s\ s'$, terminante alla superfice libera $M\ N$.

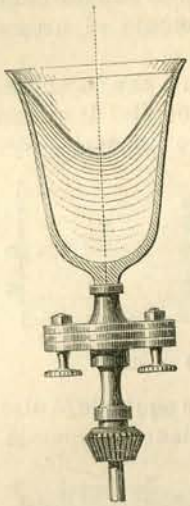


Fig. 105.

Ciò posto, l'elemento m sopporta una pressione superiore a quella sopportata da m' di una quantità uguale al peso del cilindro $m\ m'$; similmente m' sopporta una pressione che, uguale a quella sentita da n, sorpassa quella che si produce in n' di una quantità uguale al peso del cilindro $n\ n'$; risulta evidente come, proseguendo il ragionamento, l'elemento m venga, infine, a sopportare una pressione uguale alla somma dei pesi dei cilindri $m\ m'$, $n\ n'$, $r\ r'$, $s\ s'$, vale a dire, al peso di un cilindro liquido che, avendo per base m, si elevi verticalmente fino al piano orizzontale della superfice libera. Siccome ogni punto del fondo orizzontale $A\ B$ è ugualmente premuto, ne segue, che la pressione totale (1) sopportata dal fondo del vaso, è misurata dal peso del cilindro liquido, avente per base il fondo stesso, e per altezza la distanza di questo dalla superfice libera del liquido, o, come dicesi, l'altezza del liquido sul fondo.

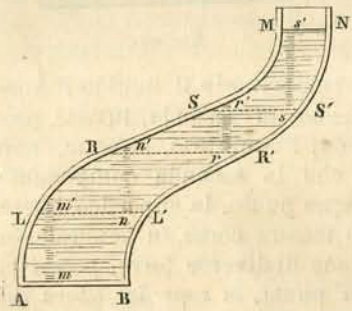


Fig. 106.

Posta B l'area della superfice del fondo del vaso, H l'altezza del liquido sul fondo, e D la densità del liquido, la pressione sul fondo è espressa dalla formola:

(1) In queste quistioni si fa astrazione dalla pressione atmosferica, la quale si esercita alla superfice libera, e si trasmette al fondo del vaso.

$$P = B\,H\,D.$$

Se, per esempio, in un vaso, il cui fondo misura 2 decimetri quadrati, si trova del mercurio fino all'altezza di $0,^{m}55$, il volume della colonna di mercurio che misura la pressione è uguale a $2 \times 5,5 = 11$ decimetri cubici, ed il suo peso è uguale ad $11 \times 13,59 = 149$ kilog. 49.

142. Esperienza dei vasi di Pascal. — Da quanto precede risulta, che la pressione sul fondo di un vaso non dipende che dall'area del fondo, dall'altezza del liquido, e dalla densità di questo; la forma del vaso è affatto senza influenza. Pascal ha immaginato, per verificare

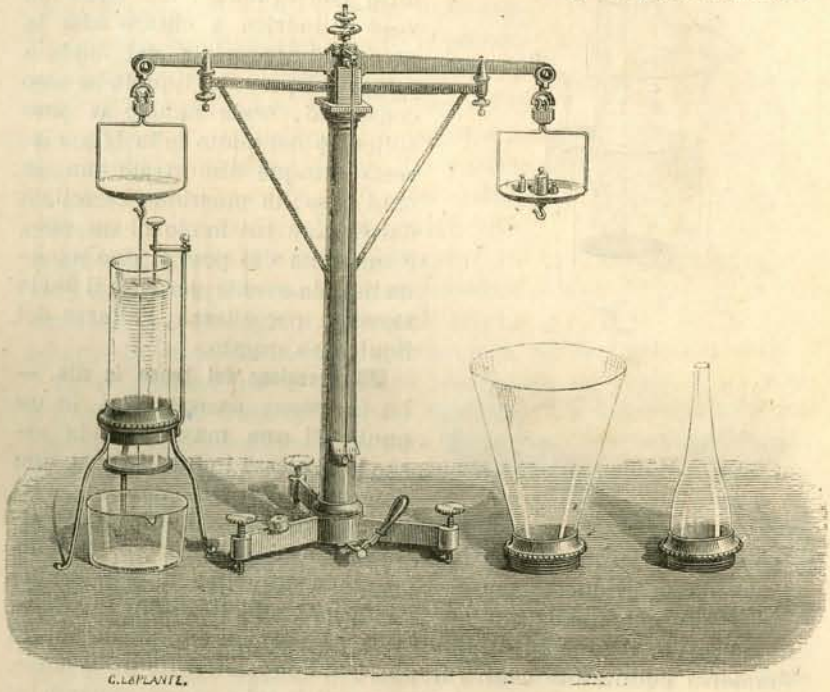


Fig. 107

questo fatto, un'esperienza, la quale, con qualche modificazione atta a renderla più semplice, viene ripetuta nei corsi di fisica. L'apparecchio a ciò destinato consiste in un trepiede (fig. 107) che porta un anello, sul quale si possono successivamente avvitare tre vasi di forme diverse; l'uno è svasato alla parte superiore, l'altro cilindrico, ed il terzo ristringentesi alla parte superiore. Alla parte inferiore dell'anello si trova un disco sospeso ad un filo attaccato ad uno dei piatti di una bilancia; dei pesi, posti nell'altro piatto, mantengono il disco contro l'anello con una certa forza. Si collochi, per esempio, il vaso cilindrico sul trepiede e vi si versi dell'acqua

finchè la pressione esercitata sul disco lo obblighi a staccarsi; col mezzo di un indice si fissi la posizione del livello del liquido al momento in cui si produce il distacco. Se si ripete l'esperienza cogli altri due vasi, il disco si distacca sempre allorquando il livello è arrivato all'altezza segnata dall'indice; ciò mostra evidentemente come la pressione esercitata da un liquido sul fondo di un vaso, è indipendente dalla forma di questo.

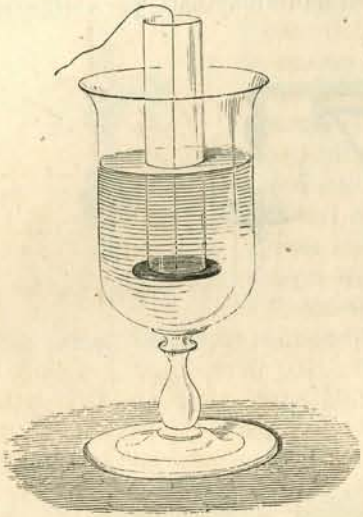


Fig 108.

L'esperienza permette di dedurre altre conseguenze; nel caso del vaso cilindrico è chiaro che la pressione sopportata dal fondo è uguale al peso del liquido in esso contenuto, ossia uguale al peso collocato nel piatto della bilancia; resta dunque dimostrato che, in ogni caso, la pressione esercitata dal liquido sul fondo di un vaso, è misurata dal peso di una colonna liquida avente per base il fondo stesso e, per altezza, l'altezza del liquido su questo.

143. Pressione dal basso in alto. — La pressione esercitantesi in un punto di una massa liquida essendo la stessa in tutti i sensi, una data superfice orizzontale dovrà risentire una pressione dal basso all'alto, uguale a quella che risentirebbe dall'alto in basso, se il liquido agisse in questo senso. Si prenda un tubo aperto ai due capi e si applichi alla sua bocca inferiore un otturatore (fig. 108); immergendo il tubo in un liquido, la pressione esercitata da questo manterrà l'otturatore contro il tubo, con una forza tanto più grande, quanto più grande è la profondità a cui il tubo viene immerso: si versi allora dello stesso liquido nel tubo, l'otturatore verrà premuto dall'alto in basso, e, allorquando il livello del liquido all'interno sarà lo stesso che all'esterno, l'otturatore si distaccherà. Ciò dimostra che, in quel momento, la pressione dal basso in alto equivale a quella che il liquido interno esercita in senso opposto (1).

(1) Ordinariamente si eseguisce l'esperienza con aqua ed il disco otturatore è di vetro; essendo il peso specifico del vetro, superiore a quello dell'aqua, allo scopo di equilibrare l'eccesso di peso del disco stesso, questo lo si tiene di area opportunamente maggiore di quella della bocca del tubo; la dimostrazione, in fatto, non è dunque così semplice quanto appare. Il prof. Cantoni giustamente propone di omettere il disco otturatore, servendo in sua vece lo strato liquido che si trova nel piano della bocca del tubo; l'equilibrio non si

144. Pressione totale. — Paradosso idrostatico. — Si consideri ora un vaso di forma qualunque, pieno di liquido; ogni punto delle pareti risente una pressione normale alla parete stessa, tanto più intensa, quanto più il punto è lontano dalla superfice libera, ed uguale, per ciascun d'essi, a quella propria a tutti i punti dello strato di livello a cui il punto appartiene. La somma di tutte queste pressioni dicesi *pressione totale* esercitata dal liquido. Bisogna ben avvertire di non confondere questa pressione totale, con quella che si trasmette al corpo su cui appoggia il vaso.

Si scorge infatti come, fra le diverse pressioni elementari, alcune si trasmettono *integralmente* all'appoggio, son queste le pressioni verticali verso il basso che agiscono sul fondo orizzontale AB (fig. 109); altre, come le n, n', non vi si trasmettono che in parte, la loro direzione essendo obliqua alla parete; le pressioni orizzontali, r, r', sono evidentemente senza influenza; in quanto alle pressioni come s, s' esse tendono a sollevare il vaso. È dalla composizione di queste pressioni, differenti per intensità e direzione, che ha origine la pressione risultante trasmessa all'appoggio del vaso.

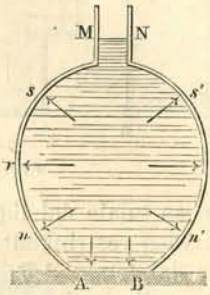


Fig. 109.

La confusione tra la pressione esercitata sul fondo di un vaso e quella che si trasmette al suo appoggio, ha dato origine a ciò che si è detto *paradosso idrostatico*. Si trovava contradditorio che, vasi i cui fondi orizzontali sono egualmente premuti, non trasmettano uguali pressioni ai corpi sui quali questo fondo poggia direttamente; ma in realtà non vi ha niente di paradossale, giacchè, la pressione sul fondo del vaso, non è che uno degli elementi, dalla combinazione dei quali risulta la pressione contro l'appoggio.

145. Composizione delle pressioni. — Si può ritenere come evidente, che questa pressione risultante è, in qualunque caso, uguale al peso del liquido, vale a dire che, se si colloca un vaso contenente un liquido sul piatto di una bilancia, onde ristabilire l'equilibrio, bisognerà porre nell'altro piatto un peso uguale alla somma dei

stabilisce che allorquando il livello del liquido nel tubo è lo stesso che all'esterno; ma allora le pressioni verso l'alto e verso il basso, sullo straterello nominato, devono necessariamente essere uguali.

Facendo uso di tubi aventi una delle bocche di ugual area, ma le di cui forme e capacità sieno diverse quanto si vuole, si arriva, nello stesso modo, a dimostrare, con esattezza e senza bisogno di apparecchi complicati, il principio dei vasi di Pascal (142); infatti, poste le bocche uguali dei tubi tutte nello stesso strato orizzontale, le pressioni dal basso all'alto contro le bocche stesse sono evidentemente uguali; quindi devono pur essere uguali fra di loro le pressioni dall'alto al basso in ciascun vaso. NOTA DEL TRADUTTORE.

pesi del liquido e del vaso. Questo fatto si può facilmente dimostrare *a priori* in un certo numero di casi semplici.

Nel caso, per esempio, di un vaso cilindrico *A B C D* (fig. 110), è chiaro come non vi sia altra pressione trasmessa all' appoggio, fuorchè quella sopportata dal fondo, la quale è uguale al peso del liquido. Nel caso di un vaso svasato, l'appoggio riceve, la pressione esercitata sul fondo *A B*, uguale al peso della colonna liquida *A B K S*, più il peso delle colonne *G H K C*, *R L D S*, che premono sopra *G H* ed *R L*, ciò che costituisce, in definitiva, il peso totale del liquido contenuto nel vaso. Finalmente, nel caso del vaso restringentesi alla parte superiore, la pressione sopportata dal fondo *A B* ed uguale al peso della colonna *A B S K*, deve essere diminuita delle pressioni contrarie esercitantesi sopra *H G* ed *R L*; queste ultime essendo misurate dal peso delle colonne liquide *H G K C*, *R L D S*, la pressione trasmessa all'appoggio riesce ancora uguale al peso del liquido contenuto nel vaso. Applicando le regole della composizione delle forze, si può facilmente dimostrare che questo risultato è generale. Questa dimostrazione, fondata sul principio di Pascal, conduce ad una conseguenza evidente per sè stessa; la si può quindi considerare come una prova rigorosa del principio costitutivo e fondamentale dell' idrostatica.

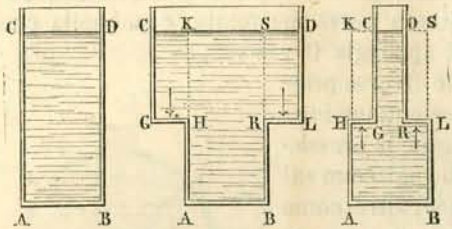


Fig. 110.

146. — Movimento prodotto dall'efflusso di un liquido. — La precedente dimostrazione mostra in definitiva, coll'analisi delle diverse pressioni, che le componenti orizzontali di queste pressioni si fanno mutuamente equilibrio e le componenti verticali si riducono ad una forza unica uguale al peso del liquido: la prima parte della proposizione, non è meno evidente della seconda. Se si dispone infatti un vaso *E* (fig. 111) in modo da renderlo assai mobile nel senso orizzontale, vuoi sospendendolo ad un filo, vuoi collocandolo sopra un galleggiante, e si riempie il vaso di liquido, non si

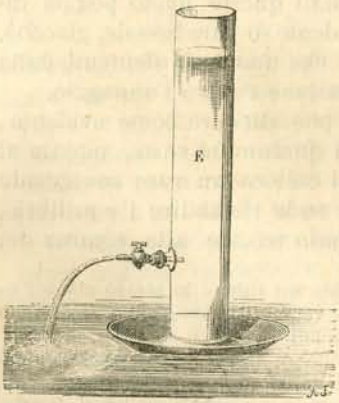


Fig. 111.

osserva mai, per quanto l'apparecchio sia mobile, il più piccolo spostamento: ciò prova appunto che le componenti orizzontali delle pressioni si equilibrano mutuamente. Questo equilibrio ha luogo per

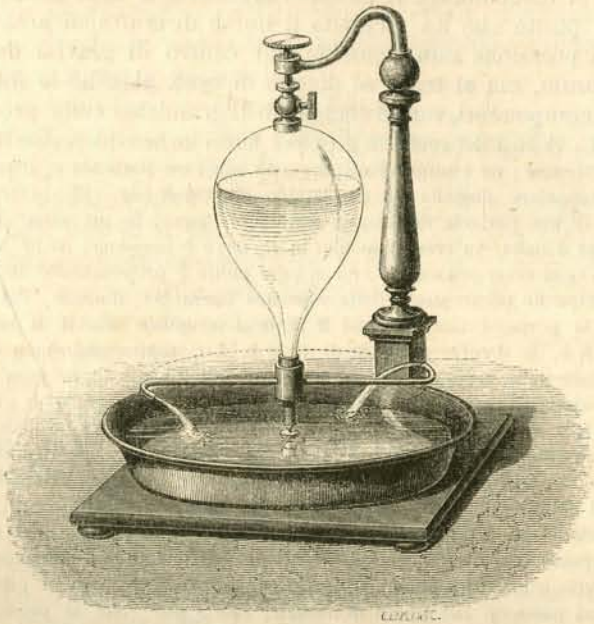


Fig. 112.

l'intermezzo del vaso, quindi, se si suppone che in un punto di questo si pratichi un'apertura, il liquido effluisce e la pressione che si esercita contro la parete nel punto diametralmente opposto, fa muovere il vaso in senso contrario all'efflusso.

Ciò spiega il giuoco dell'apparecchio detto arganetto idraulico: questo si compone (fig. 112) di un vaso mobile intorno ad un asse verticale, e munito, alla sua parte inferiore, di un tubo curvato in sensi contrari alle estremità, dalle aperture del quale si può far effluire il liquido: la reazione esercitata sulla parete, nei punti opposti a quelli pei quali ha luogo l'efflusso, determina il movimento di rotazione dell'apparecchio. Quando la velocità di efflusso sia abbastanza grande, il movimenio di rotazione può essere utilizzato industrialmente; vennero proposti e sperimentati motori idraulici fondati su questo principio; fra essi si può citare la turbina Burdin.

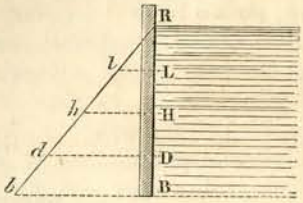


Fig. 113.

147. Centro di pressione. — Se si considera, in particolare, il caso della pressione esercitata da un liquido contro una parete piana, caso in cui le diverse pressioni sono tutte parallele fra loro, si può proporsi di determinare il punto d'applicazione della pressione risultante; punto che ha ricevuto il nome di *centro di pressione*. Il centro di pressione non coincide col centro di gravità della parete premuta, ma si trova al disotto di esso, giacchè le forze elementari componenti, vanno crescendo di grandezza colla profondità.

148. — La ricerca del centro di pressione forma un ramo particolare della *meccanica razionale*; ne esamineremo perciò un solo caso particolare. Sia $R\ B$ una parete rettangolare bagnata da un liquido fino in R (fig. 115); si tratti, per esempio, di una paratoia destinata a trattenere l'aqua: la pressione dal punto R, nel quale è nulla, va crescendo fino in B, dove è massima; ha lo stesso valore lungo ogni retta orizzontale, ed in ogni punto è proporzionale alla distanza che separa questo punto stesso dalla superfice libera. Se, dunque, dal punto B si traccia la perpendicolare $B\ b$ ad $R\ B$, la si fa uguale alla $R\ B$ stessa e si traccia la $R\ b$, le diverse parallele $D\ d$, $H\ h$, $L\ l$, rappresenteranno la misura proporzionale delle pressioni che si esercitano, rispettivamente, nei punti D, H, L; la composizione di queste pressioni si riduce a trovare il centro di gravità del triangolo $R\ b\ B$; ma quello, trovandosi ad $^1/_3$ dell'altezza, se ne deduce che il centro di pressione si troverà pure ad $^1/_3$ dell'altezza $R\ B$: per ragione di simmetria, esso si troverà poi sulla linea che congiunge i punti di mezzo dei lati superiore ed inferiore del rettangolo.

La pressione totale sopportata dalla parete $R\ B$ si può valutare, nel caso particolare esposto, osservando come, la pressione crescendo uniformemente da R fino in B, l'effetto è lo stesso come se la pressione avesse in ciascun punto il valore ch'essa possiede nel punto di mezzo; vale a dire, che la pressione sulla parete è la stessa come se essa fosse premuta su tutti i suoi punti da un'altezza d'aqua uguale alla metà di $R\ B$. Se, per esempio, $R\ B$ è uguale a 3 metri, e se la larghezza della parete è di 5 metri, la pressione totale sarà misurata dal peso di $5 \times 3 \times 1,5 = 7,5$ metri cubi d'aqua, vale a dire sarà di 22500 kilogrammi.

Si osservi che il punto di mezzo dell'altezza del rettangolo, corrisponde col centro di gravità del rettangolo stesso, si può quindi dire che, *la pressione sopportata da una parete piana inclinata, è uguale al peso di una colonna di liquido, avente per base la superfice premuta, e per altezza la distanza del centro di gravità di questa dalla superfice libera del liquido.* La meccanica dimostra che questa proporzione è generale, valendo per qualunque siasi superfice, piana o curva.

CAPITOLO VI.

PRINCIPIO D'ARCHIMEDE.

149. Spinta. — Quando un corpo è immerso in un liquido, i diversi punti della sua superfice risentono pressioni la cui in-

tensità e direzione, sono sottoposte ai principii esposti nel capitolo precedente. Siccome queste pressioni crescono in grandezza colla profondità, si capisce facilmente come la risultante di quelle tendenti a sollevare il corpo, debba superare la risultante di quelle tendenti a sprofondarlo; dimodochè, per effetto risultante, si ha una forza diretta in senso opposto alla gravità; a questa forza vien dato il nome di *spinta*.

Con una dimostrazione analitica, analoga a quella del § 145, si arriva a stabilire che questa spinta è misurata dal peso di un volume di liquido, uguale al volume del corpo. Questa conclusione si può facilmente verificare nel seguente caso semplice: si consideri, per esempio (fig. 114), un cilindro immerso in un liquido, coll'asse verticale; le pressioni sulle faccie laterali opposte sono uguali e contrarie e quindi si equilibriano: la pressione verticale esercitantesi sopra la base superiore $A\ B$, diretta dall'alto al basso, è misurata dal peso della colonna liquida $A\ B\ N\ N$; l'altra esercitantesi sulla base inferiore $C\ D$, e diretta dal basso all'alto, è misurata dal peso della colonna liquida $C\ N\ N\ D$: il peso di quest'ultima supera quello della prima, precisamente del peso del cilindro liquido $A\ B\ C\ D$, dimodochè, l'effetto risultante delle pressioni, è appunto quello di sollevare il corpo con una forza uguale al peso del liquido spostato.

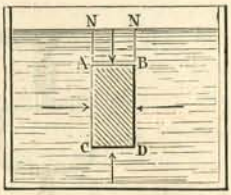


Fig. 114.

Con un ragionamento puramente sintetico si può mostrare come questa conclusione è affatto generale. Si esamini infatti una massa liquida in equilibrio, ed in essa si consideri, in particolare, la porzione M (fig. 115); questa è pure in equilibrio; se si suppone che essa, senza cambiare nè di volume, nè di natura, diventi solida, l'equilibrio sarà ancora mantenuto; ma questa massa è pesante e, giacchè non cade, bisogna concludere che le pressioni esercitantesi alla sua superfice hanno per effetto, di dar origine ad una spinta uguale e contraria al suo peso. Se si suppone che alla porzione M di liquido venga sostituito un corpo tale da occuparne esattamente il posto, le pressioni esterne resteranno le stesse, e lo stesso l'effetto risultante; vale a dire, che il corpo sarà sottoposto ad una spinta uguale al peso del liquido da esso spostato.

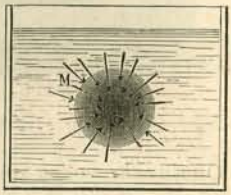


Fig. 115.

Si osservi che, qualunque sia la posizione della massa M, ha

sempre luogo l'equilibrio; ciò mostra come la spinta passi sempre pel centro di gravità della massa M stessa: si dà il nome di centro di *pressione o di spinta* al centro di gravità del liquido spostato da un corpo immerso; si può pertanto supporre che la spinta del liquido sia sempre applicata in quel punto. I risultati precedenti si possono dunque riassumere nel seguente enunciato:

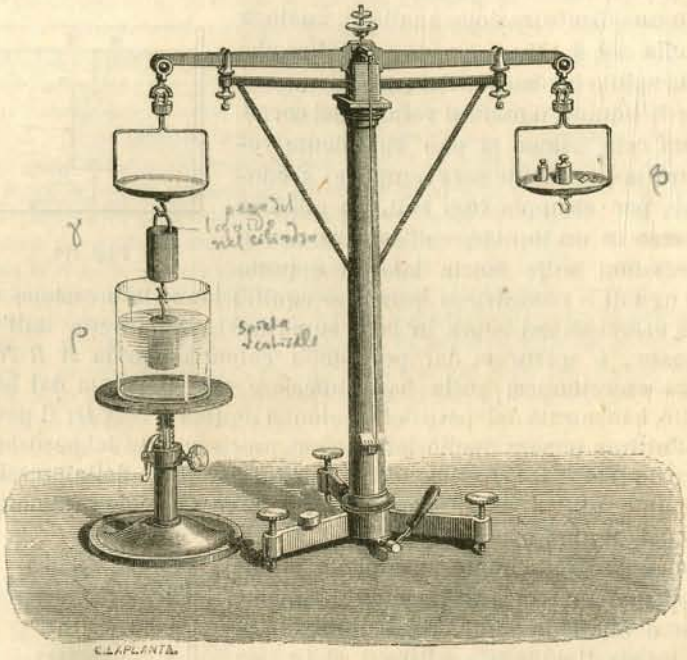


Fig. 116.

Qualunque corpo immerso in un liquido, è sottoposto ad una spinta verticale, diretta dal basso all' alto, uguale al peso del liquido spostato ed applicata al centro di gravità di questo. Questa proposizione costituisce il celebre principio d'Archimede e spesso viene enunciata dicendo che, *qualunque corpo immerso in un liquido, perde del suo peso, quanto è il peso del liquido spostato*: sebbene poco esatto (1), questo enunciato, in fondo, è identico al precedente, giacchè, se si pesa un corpo immerso in un liquido, il suo peso verrà diminuito di una quantità eguale alla spinta.

(1) Infatti il corpo non può *perdere del suo peso*, questo essendo una proprietà inerente alla sua materia.

NOTA DEL TRADUTTORE.

150. Dimostrazione sperimentale del principio d'Archimede. — Nei corsi di fisica si eseguisce, ordinariamente, la seguente dimostrazione sperimentale del principio d'Archimede (fig. 116). Si sospende ad uno dei piatti di una bilancia idrostatica un cilindro cavo in ottone, ed, al disotto di questo, un cilindro massiccio, di volume uguale alla capacità del cilindro cavo; si ristabilisce l'equilibrio con una opportuna tara, posta nell'altro piatto. Ciò fatto, si pone al disotto dei cilindri un vaso contenente dell'acqua, nella quale s'immerge il cilindro inferiore; l'equilibrio è distrutto e la spinta fa piegare il giogo dalla parte del piatto dove si trova la tara. Se, allora, si versa dell'acqua nel cilindro cavo, si vede ristabilito l'equilibrio, allorquando il cilindro stesso è pieno d'acqua ed il cilindro massiccio è completamente immerso nel liquido. La spinta sopportata dal cilindro è, dunque, uguale al peso dell'aqua aggiunta, vale a dire al peso di un volume di aqua, eguale a quello dell'aqua spostata.

151. Corpi immersi in un liquido. — Dal principio d'Archimede risulta che un corpo, quando è immerso in un liquido, è sottoposto a due forze; l'una, uguale al suo peso, applicata al suo centro di gravità, tende a farlo discendere, l'altra, uguale al peso del liquido spostato, applicata al centro di spinta, tende a farlo salire; si possono dunque presentare tre casi:

1.° Il peso del corpo è maggiore del peso del liquido spostato; in altre parole, la densità media del corpo è maggiore di quella del liquido; in questo caso il corpo scende nel liquido; ne dà esempio un pezzo di piombo posto nell'acqua.

2.° Il peso del corpo è minore di quello del liquido da esso spotato; esso allora sale ed esce in parte dal liquido, finchè il peso del liquido spostato sia uguale al suo; un pezzo di sughero posto sull'acqua dà esempio di questo caso.

3.° Il peso del corpo è uguale al peso del liquido spostato; in questo caso, le due forze contrarie essendo uguali, il corpo si dispone in una certa posizione e vi si mantiene in equilibrio (1).

Questi tre casi si realizzano colla esperienza seguente (fig. 117):

1.° Si pone un uovo in una provetta contenente dell'aqua; la sua densità media essendo un po' superiore a quella dell'acqua esso scende fino al fondo del vaso.

(1) Nei due casi in cui la spinta s non è uguale al peso p del corpo, essendo $p - s$ costante, il moto di discesa o di ascesa del corpo riesce uniformemente accelerato (55): però la sua accelerazione a è differente da quella dei gravi come lo mostra la relazione (57):

$$a : g = p - s : p$$

dalla quale

$$a = \frac{p - s}{p} g.$$

2.° Se in un'altra provetta, si ripete l'esperienza con aqua salata, l'uovo galleggia sul liquido, essendo questo un po' più denso dell'uovo.

3.° Si versi con precauzione l'aqua pura sull'aqua salata, i due liquidi si mescolano nelle parti in contatto; se si pone l'uovo nella parte superiore del liquido, lo si vede discendere e, dopo qualche movimento di oscillazione, fermarsi in uno strato dove esso sposta un volume di liquido il cui peso è uguale al proprio. Si osservi che l'uovo, in questa condizione, si trova in equilibrio *stabile*, giacchè, se si eleva, la spinta divenendo minore, il suo peso tende a farlo ridiscendere; se all'opposto si abbassa, la spinta aumenta e tende a farlo risalire.

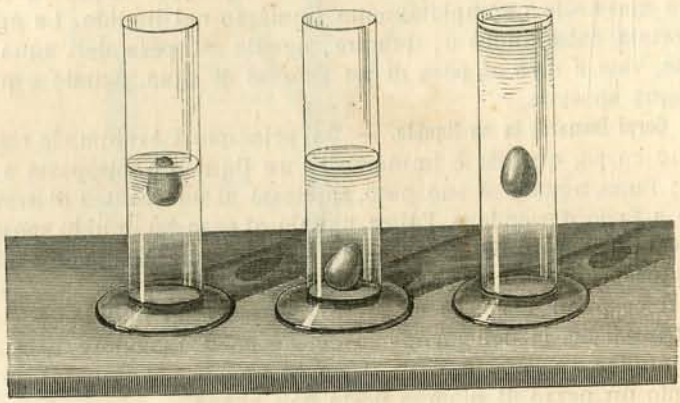


Fig. 117.

152. Diavolo di Cartesio. — L'esperienza del diavoletto di Cartesio ci mostra, del pari, i differenti casi che si possono presentare nell'immersione di un corpo in un liquido. Questo apparecchio è formato (fig. 118) da una sfera cava, nella parte inferiore della quale si trova una piccola apertura *O*; una figurina in ismalto è fissata alla sfera ed il tutto galleggia sull'acqua posta in una provetta, la cui bocca è chiusa da una membrana o da una lamina di caoutchouc. Se si preme la membrana, l'aria sottoposta si comprime e la pressione, trasmettendosi nei diversi strati del liquido, determina la compressione dell'aria contenuta nella sfera e, di conseguenza, un po' d'acqua entra dall'apertura *O*; il sistema diventa così più pesante ed assume un movimento discendente. Quando si cessa dal premere la membrana, tutto si riduce allo stato primitivo, dell'acqua sorte dalla sfera ed il sistema risale. Potrà anche accadere, ad un certo momento, che il peso del sistema sia uguale al peso del liquido da esso spostato; si avrà allora equili-

brio: ma questo equilibrio è instabile, giacchè, un piccolo impulso, in qualunque senso, sarebbe causa di un moto continuo nel senso stesso.

153. Posizione relativa del centro di gravità e del centro di pressione. — Perchè un corpo immerso in un liquido, o galleggiante su di esso, si trovi in equilibrio, è *necessario* che il suo peso sia uguale al peso del liquido spostato; questa condizione non è però *sufficiente;* bisogna anche che la spinta sia direttamente contraria al peso, vale a dire, che il centro di gravità ed il centro di pressione si

Fig. 118.

trovino nella stessa verticale; se questa condizione non fosse soddisfatta, le due forze, formando una coppia, avrebbero per effetto di far girare il corpo sopra sè stesso. Quando si tratta di un corpo immerso completamente, onde il suo equilibrio sia stabile, bisogna che *il centro di gravità si trovi al disotto del centro di pressione*; la fig. 119 mostra come, per qualunque altra posizione diversa da quella d'equilibrio, l'effetto delle due forze applicate ai punti *G* ed *O* è quello di far girare il corpo, in modo da portare il centro di gravità alla parte inferiore.

Questa condizione non è più indispensabile quando il corpo è galleggiante; si tratti, per esempio, (fig. 120) della parte inferiore di una nave; il centro di spinta si trovi in *O* ed il centro di gravità in *G*, molto al disopra di quello; se il corpo si sposta e prende la posizione indicata dalla figura, come si vede, le due forze agenti in *O* ed in *G* hanno per effetto di ricondurre il corpo alla posizione iniziale. La differenza tra questo caso e quello di un corpo completamente immerso, dipende da ciò che, nel caso del corpo galleggiante, la forma del liquido spostato cambia coi movimenti del corpo, ed il centro di pressione si trova, perciò, spostato dalla banda dove il corpo s'immerge maggiormente: ne segue che la spinta agisce in senso contrario al movimento del corpo e tende a ristabilire il primitivo equilibrio. (1)

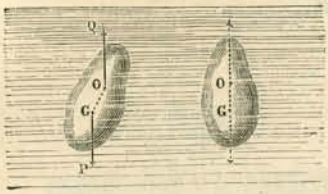


Fig. 119.

Fig. 120.

154. Necessità di abbassare il centro di gravità. — La ricerca delle condizioni della stabilità dell'equilibrio di un galleggiante è una delle quistioni più dilicate della meccanica razionale e non ne facciamo quindi oltre questione: si osservi solamente che, in tutti i casi in cui l'equilibrio di un galleggiante è disturbato da una causa qualunque, tende a ristabilirsi con una forza tanto più grande, quanto più il centro di gravità è basso; così, se si vuol evitare che il corpo *cappeggi*, sarà importante di abbassare, quanto è possibile, il suo centro di gravità: è questo il principio della zavorra; è questa la considerazione che primeggia nelle regole tecniche relative alla distribuzione del carico a bordo di una nave.

155. Fenomeni in apparente contraddizione col principio d'Archimede. — Un corpo non può galleggiare su di un liquido se non allorquando la sua densità è minore di quella del liquido stesso: questa conseguenza naturale del principio d'Archimede si trova in apparente contrad-

(1) Il punto in cui la direzione della spinta corrispondente al corpo nella posizione inclinata, incontra la retta passante pel centro di gravità e pel centro di spinta, quando il corpo è nella posizione di equilibrio, dicesi *metacentro*; evidentemente l'equilibrio del galleggiante sarà stabile solamente finchè il metacentro si trova al disopra del centro di gravità del galleggiante stesso.

NOTA DEL TRADUTTORE.

dizione con fatti ben noti: se, per esempio, si posano con precauzione dei fini aghi d'acciaio sulla superfice dell'aqua, essi vi restano in equilibrio, (fig. 121); è per un fenomeno analogo che alcune specie d' insetti camminano sull' acqua, che un gran numero di corpi di natura qualunque, purchè molto sottili, possono essere, per così dire, posati sulla superfice di un liquido, senza immergervisi. Questi fatti curiosi sono dovuti, in parte, al tenue peso assoluto del corpo; la forza colla quale questi corpi agiscono sulle molecole liquide, è insufficiente a vincere la loro mutua coesione, queste non si separano, il corpo non ne resta bagnato e si forma intorno a lui una depressione, una specie di bacino, sul fondo del quale esso riposa. La curvatura della superficie liquida, in vicinanza al corpo, è resa ben sensibile dall'osservazione dell'ombra portata dal corpo galleggiante, quando esso sia rischiarato dal sole; la si vede fiancheggiata da strisce luminose, dovute alla rifrazione dei raggi luminosi nella parte di liquido terminata da superfice curva. L'esistenza della depressione intorno al corpo galleggiante, permette di ricondurre questi casi particolari all'enunciato generale del principio d'Archimede. Sia infatti M (fig. 122) la sezione del corpo, $C\ D$ la distanza alla quale si estende la depressione, ed $A\ B$ la porzione corrispondente di uno strato di livello qualunque; la pressione esercitata su ciascuno dei punti di AB, dovendo essere la stessa che sulle altre parti dello strato, il liquido agisce come se, M non esistendo, la cavità fosse riempita dal liquido stesso. Si può dunque ancora dire che il peso del corpo è uguale al peso di liquido spostato, intendendosi, in questo caso, di parlare del liquido che occuperebbe la totalità della depressione dovuta alla presenza del corpo.

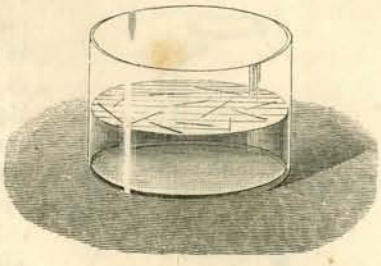


Fig. 121.

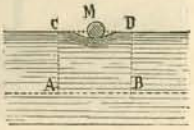


Fig. 122.

156. Liquidi sovrapposti. — Quando si mettono in un vaso dei liquidi di densità differente, alla stessa maniera che un solido discende in un liquido più leggiero, le particelle dei liquidi più densi si riuniscono e si riducono alla parte inferiore del vaso. I liquidi si dispongono nell'ordine delle loro rispettive densità e le loro superfici di separazione riescono orizzontali. Si verifica questo

fatto per mezzo della boccia detta dei *quattro elementi*. È questa una boccetta (fig. 123) contenente del mercurio, dell' acqua e dell'olio; nello stato d'equilibrio, il mercurio occupa la parte inferiore l'olio la parte superiore e l'acqua la parte di mezzo: se si agita la boccetta, i liquidi si mescolano momentaneamente, ma, lasciati in riposo, riprendono presto le primitive posizioni rispettive.

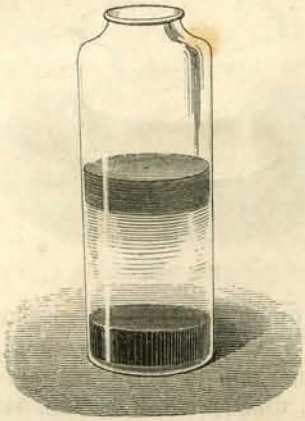


Fig. 123.

Dietro le regole dell'idrostatica si stabilisce facilmente come la superfice di separazione di due liquidi debba essere orizzontale. Sieno infatti due liquidi contenuti in un vaso (fig. 124); la superfice libera è necessariamente orizzontale; se si considerano, in uno strato di livello del liquido inferiore, due elementi superficiali eguali n ed n', le pressioni da questi sopportate devono essere uguali; ma queste pressioni sono misurate dal peso dei cilindri liquidi $n\ r\ s$, $n'\ t\ l$, e questi pesi non possono essere uguali che allorquando, al disopra dei punti n ed n', si trovi una stessa altezza del liquido inferiore. Questo ragionamento potendosi applicare a qualunque punto dello strato di livello considerato, questo deve trovarsi ad una distanza costante dalla superfice di separazione, ciò che, in altri termini, vuol dire che questo strato dev'essere orizzontale.

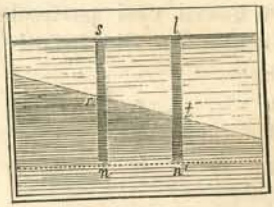


Fig. 124.

Questa proprietà si verifica solamente quando i liquidi non sono suscettibili di disciogliersi mutuamente o di reagire chimicamente l'uno sull'altro. Così, versando con precauzione dell' alcool sull' aqua contenuta in un bicchiere, si vedranno i due liquidi separati da uno strato orizzontale; ma, se si agita, si otterrà un solo liquido risultante dalla loro mutua dissoluzione, i di cui elementi non si separano più. Se l'agitazione è insufficiente, il miscuglio intimo non sarà che parziale nella regione di contatto, e si avranno due strati, separati da una zona intermediaria di densità variabile: è quanto succede alla foce di un fiume; l' aqua dolce forma alla superfice dell' aqua di mare uno strato la di cui base è, in parte, mescolata coll'aqua salata.

CAPITOLO VII.

APPLICAZIONE DEL PRINCIPIO D'ARCHIMEDE ALLA MISURA DELLE DENSITÀ. AREOMETRI.

157. Misura del peso specifico. — Nel Capitolo IV si è visto come, per determinare il peso specifico di una sostanza, basta stabilire il rapporto tra il peso di un certo volume di questa sostanza ed il peso di un egual volume d'aqua. Il principio d'Archimede permette di effettuare questa misura assai facilmente; però il processo al quale dà luogo non presenta nè la comodità nè l'esattezza di quello descritto al capitolo nominato.

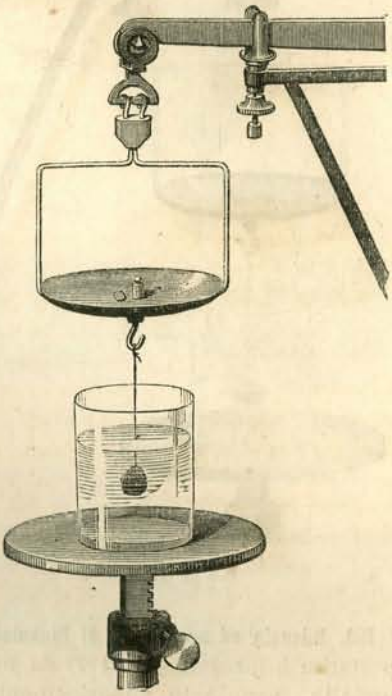


Fig. 125.

I.° *Corpi solidi.* Si abbia, per esempio, un pezzo di rame di cui si vuol determinare il peso specifico: lo si sospende, col mezzo di un filo assai sottile, ad uno dei piatti della bilancia (fig. 125), e se ne determina il peso; sia, per esempio, di $125^{gr.}, 35$; si fa in seguito pescare il corpo nell'aqua, l'equilibrio è distrutto dalla spinta e, per ristabilirlo, si è obbligati di porre nel piatto sotto al quale è sospeso il corpo, un peso di $14^{gr.}, 24$, che, secondo il principio d'Archimede, rappresenta il peso di un volume d'aqua uguale al volume del corpo. Il peso specifico del rame è dunque: $\frac{125,35}{14,4} = 8,8$ (1).

(1) Se il corpo galleggia, come accadrebbe nella determinazione del peso specifico del legno, lo si zavorra; si cerca la spinta totale del corpo e della zavorra, quindi la spinta dovuta alla zavorra sola; la differenza tra le due spinte darà, evidentemente, la spinta che sarebbe risentita dal solo corpo, qualora fosse totalmente immerso.

Se il corpo è solubile nell'aqua, se ne fa la determinazione in un liquido che

II.° *Corpi liquidi.* Si sospende ad uno dei piatti della bilancia (fig. 126) un corpo non attaccabile dal liquido nel quale lo si deve immergere; una sfera di vetro, zavorrata all'interno con mercurio, serve assai bene allo scopo: se ne fa la tara esatta e la s'immerge quindi nel liquido del quale si vuol determinare il peso specifico, l'alcool, per esempio; per equilibrare la spinta si debba porre nel piatto un peso, per esempio, di 34^{gr}, 43. Si ripete l'esperienza immergendo la sfera nell'acqua; la spinta riesce maggiore e, per ristabilire l' equilibrio, sono necessari 44^{gr}, 28. I pesi 44^{gr}, 28 e 35^{gr}, 43 sono i pesi di volumi eguali di acqua e di alcool; il peso specifico di quest' ultimo è dunque $\frac{35,43}{44,28} = 0,8$.

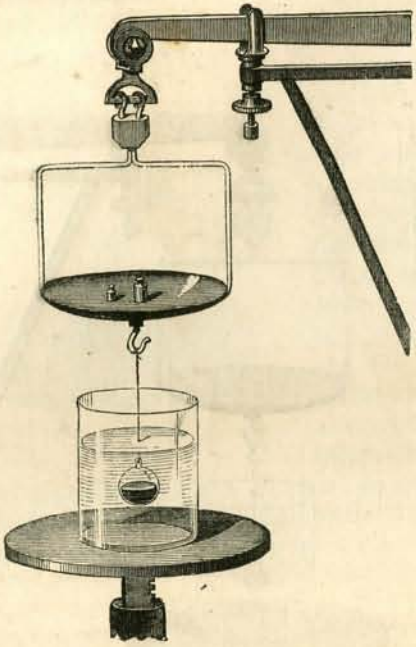


Fig. 126.

158. Bilancia od areometro di Nicholson. — Questa specie di bilancia portatile è formata (fig. 127) da un corpo cilindro-conico cavo, in metallo, terminato superiormente da un' asticina che porta un piccolo piatto, ed inferiormente da una specie di cestello, zavorrato in modo che, immerso l'apparecchio nell' aqua, sia necessario

non scioglie il corpo, ed il rapporto trovato lo si moltiplica pel peso specifico del liquido stesso rispetto all'aqua. Sieno: P il peso di un corpo, s la spinta che questo risentirebbe nell'aqua, s' la spinta da esso provata nel liquido, p il peso specifico richiesto; il peso specifico del corpo rispetto al liquido è allora $\frac{P}{s'}$; d'altra parte, il peso specifico del liquido rispetto all'aqua è $\frac{s'}{s}$; ma:

$$\frac{P}{s'} \times \frac{s'}{s} = \frac{P}{s} = p.$$

come si era detto:

NOTA DEL TRADUTTORE.

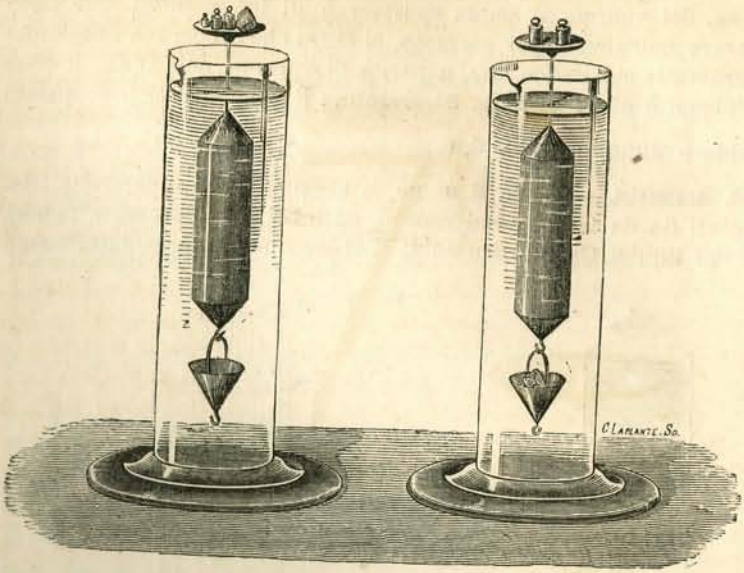


Fig. 127.

di porre sul piattello un peso, di 100 grammi per esempio, onde l'apparecchio affiori fino ad un punto di riscontro, segnato sull'asticina. Si ponga, supponiamo, un pezzetto di piombo sul piatto e, per produrre l'affioramento, in luogo di 100 grammi, bastino $94^{gr}, 52$; ciò vuol dire che il peso del pezzetto di piombo è di $5^{gr}, 48$; si ponga in seguito, il pezzetto di piombo nel cestello; ha luogo un aumento di spinta che solleva l'apparecchio; si ristabilisce l'affioramento ponendo sul piattello un peso, nel nostro caso, di $0^{gr}, 482$; è questo il peso di un volume d'aqua uguale a quello del piombo; il peso specifico di questo è dunque $\frac{5,\ 48}{0,\ 482} = 11,\ 36$.

Questo apparecchio, altre volte decantato, è di maneggio incomodo e presenta poca esattezza in causa dell'aderenza capillare contro l'asticina, aderenza continuamente variabile a motivo dei movimenti dell'istrumento, che modificano di continuo la forma della superfice libera.

159. Areometro di Fahrenheit. — Le stesse osservazioni stanno per l'areometro di Fahrenheit (fig. 128). Il galleggiante, ordinariamente di vetro, termina inferiormente con una bolla zavorrata, e superiormente con un piattello. Supponiamo che l'istrumento pesi 60 grammi e che, per farlo affiorare nell'acqua al punto di riscontro, si debbano mettere nel piattello 40 grammi: ciò vuol dire che

il peso del volume d'acqua spostato è di 100 grammi. Per farlo affiorare nell'alcool, per esempio, si trova che occorrono solamente 20 grammi; ciò indica che, a parità di volume coll'aqua, il peso dell'alcool è di $60 + 20 = 80$ grammi: il peso specifico di questo liquido è dunque $\frac{80}{100} = 0,8$.

160. Areometri. — Si dà il nome di areometri ad apparecchi, conosciuti fin da tempi assai remoti, ed usati per apprezzare la densità dei liquidi. Questi istrumenti si fanno quasi sempre della forma

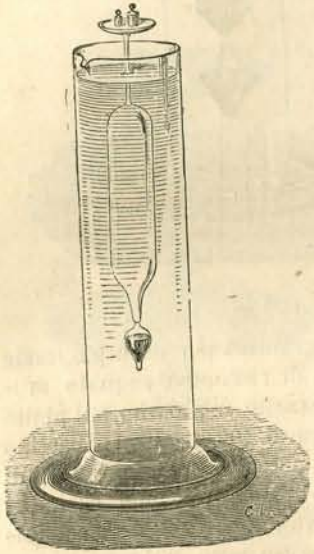


Fig. 128.

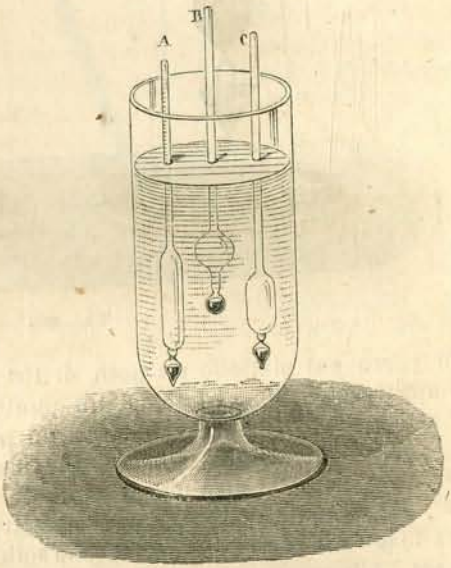


Fig. 129.

di quelli *A*, *B*, *C*, rappresentati dalla figura 129; più spesso si costruiscono in vetro, qualche volta in metallo; in questo caso si scelgono metalli poco alterabili, quali l'argento, il rame od il maillechort. L'asta porta una graduazione che permette di determinare il punto di affioramento in un dato liquido. Gli è evidente che l'istrumento si affonderà tanto più, quanto meno il liquido è denso, e viceversa; giacchè, in qualunque caso, il peso del liquido spostato deve essere uguale al peso dell'istrumento: se s'imagina pertanto che la graduazione sia fatta in modo da rendere i diversi istrumenti comparabili fra di loro, vale a dire che, posti gli istrumenti stessi in liquidi di uguale densità, seguino tutti lo stesso grado, si potrà verificare la densità di un dato liquido colla semplice immersione in questo dell'areometro; operazione senza dubbio poco precisa ma

molto facile ad effettuarsi. Questi istrumenti sono di uso continuo nell'industria e nel commercio.

161. Pesa-sali e pesa-spiriti di Baumé. — I due apparecchi imaginati da Baumé, verso la fine dello scorso secolo, sotto il nome di pesa-sali e di pesa-spiriti, corrispondono alle condizioni sovra-indicate e, se essi danno spesso indicazioni poco esatte, ciò non devesi attribuire all'inesattezza del principio sul quale sono fondati, ma bensì alla poca cura che generalmente si pone nel costruirli.

Fig. 130.

Il pesa-sali, detto pure *pesa-acidi, pesa-siroppi, pesa-aceto, ecc.*, (fig. 130), destinato ai liquidi più densi dell'acqua, è costruito in modo che, immerso nell'acqua a 12° di temperatura, affiora press'a poco all'estremità superiore dell'asticina; al punto d'affioramento è segnato 0. Lo si immerge in seguito in una soluzione di 15 parti di sal comune su 85 parti d'acqua, il peso specifico della quale è 1,116 circa, e si segna 15 al nuovo punto di affioramento: si divide l'intervallo in 15 parti eguali, e si prolunga la graduazione fino al basso dell'asta; la lunghezza di questa varia secondo i casi: la si spinge fino ai 66 gradi, che corrispondono alla densità dell'acido solforico. Per uso di laboratorio si hanno delle tavole che danno i pesi specifici corrispondenti ai gradi del pesa-sali; si può pure servirsi della formola: $D = \frac{144}{144 - N}$.

Nel pesa-spiriti o pesa-etere (fig. 131 e 132) il punto d'affioramento nell'aqua, situato verso il basso dell'asta, è segnato 10; lo 0 corrisponde al punto d'affioramento in una dissoluzione di 10 parti sal comune in 90 parti d'acqua, il peso specifico della quale è circa 1, 085. L'affioramento al punto N corrisponde ad un peso specifico dato dalla formola

$$D = \frac{128}{118 + N}.$$

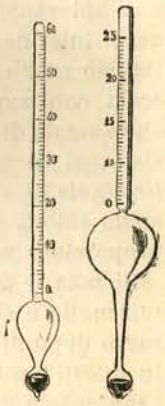


Fig. 131 e 132.

Le espressioni: *alcool a* 36°, *alcool a* 40°, usate per distinguere i diversi alcool, si riferiscono alla scala del pesa-spiriti di Baumé, oppure a quella dell'areometro di Cartier, il quale non è che una insignificante modificazione del primo. Le basi della graduazione di Cartier non furono mai, nè ben note, nè ben fissate; secondo Gay-Lussac, il grado 10 è sensibilmente lo stesso nella scala di Cartier ed in quella di Baumé, ed il 29° di Cartier corrisponde press'a poco al 31° di Baumé.

162. Densimetri, volumetri. — I numeri iscritti sull'asticina del pesa

sali e del pesa spiriti sono affatto arbitrari; si sarebbe potuto, pur conservando il principio della costruzione, cambiare i punti fissi od adoperare liquidi diversi dai citati. Gli è comodo di avere in corrispondenza delle graduazioni segnate, sia la densità stessa del liquido, sia il volume della parte imersa dello strumento. Diconsi densimetri (fig. 133) e volumetri gli istrumenti che forniscono rispettivamente l'una o l'altra di tali indicazioni.

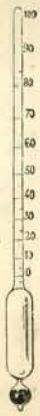


Fig. 133

163. Alcoometro centesimale di Gay-Lussac. — I diversi liquidi conosciuti nell' industria sotto il nome di spiriti, possono considerarsi come miscugli, in proporzioni variabili, di alcool puro od *assoluto* e di acqua: il loro commercio è sottoposto ad una gabella elevata, basata sulla quantità reale di alcool che essi contengono La valutazione del titolo di uno spirito si faceva, una volta, in modo assai incerto, per mezzo dell'areometro di Cartier; presentemente si fa uso dell' alcoometro centesimale di Gay-Lussac (fig. 134), il quale fornisce direttamente (almeno quando si faccia l'osservazione alla temperatura di 15°), la proporzione in volume di alcool puro contenuto in un alcool commerciale; così, uno spirito che segna 74°, contiene il 74 per 100 in volume d' alcool puro. All' estremo superiore dell' asta dell' alcoometro è segnato il punto 100 di affioramento nell' alcool assoluto, ed alla parte inferiore il punto 0 di affioramento nell' acqua pura. La determinazione dei gradi intermedi è molto delicata, giacchè l' alcool è un liquido molto dilatabile e, d'altra parte, quando lo si mescola coll' acqua, si produducono una contrazione ed un elevamento di temperatura: il processo di Gay-Lussac consiste nel formare dei miscugli contenenti un volume *determinato* di alcool e dell'aqua; si aspetta che i miscugli si siano ridotti a 15° e dal loro volume si deduce allora la proporzione centesimale di alcool (1).

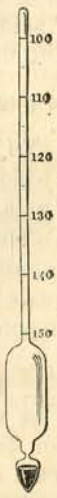


Fig. 134.

Si nota il punto d'affioramento dell'istrumento in questo miscuglio e si determina così, direttamente, un certo numero di punti M, N, R, S, della scala (fig. 135); si elevano in questi punti delle perpendicolari $M M'$, $N N'$.... alla $A B$, rappresentanti la corrispondente proporzione in centesimi

(1) Se, per es.: a 500^{cc} d'alcool puro si aggiungono 460^{cc} di aqua, dopo il raffreddamento si otterrà un volume di 930^{cc}, che contiene quindi $\frac{500}{930} \times 100 = 53,7$ per 100 d'alcool.

di alcool, e si congiungono le estremità di queste perpendicolari con una linea continua: dividendo la *B C* in 100 parti uguali, tracciando dai punti di divisione delle parallele ad *A B*, e proiettando su questa i punti d'intersezione colla curva, si hanno i gradi della scala.

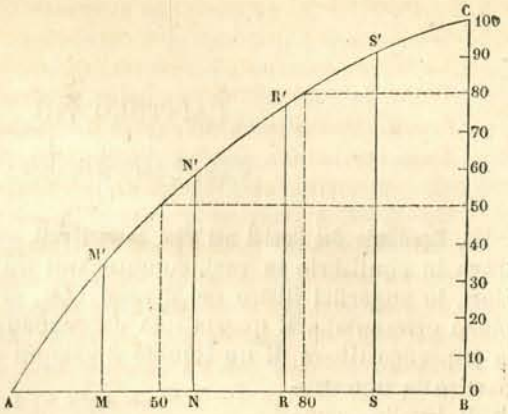


Fig. 135.

Le indicazioni dell'alcoometro si riferiscono alla temperatura di 15°; le osservazioni fatte a temperature differenti da questa, si correggono col mezzo di tavole costruite da Gay-Lussac. Si osservi che la scala dell'alcoometro centesimale, essendo costruita per mezzo di miscugli di alcool e di acqua, non può direttamente servire che per liquidi di questa specie. Se si volesse conoscere la quantità di alcool contenuta in un liquido, come il vino, per esempio, il quale contiene, oltre l'acqua e l'alcool, sostanze differenti, bisogna sottometterli alla distillazione, la quale fornisce la totalità dell'alcool mescolato con una quantità variabile di aqua. La stessa osservazione si riferisce a tutti gli areometri, giacchè questi strumenti ci forniscono la densità ma non ci danno cognizione della natura del liquido: una verifica areometrica è dunque assolutamente illusoria, dal punto di vista della purezza del prodotto, allorquando sia possibile di comporre la densità normale di questo, coll'introduzione di sostanze diverse; così, per esempio, sarebbe inutile di esigere che il latte segni un dato grado al *lattometro*, se non si avesse cura di constatare, con un altro genere di prova, che la sottrazione della crema, operazione che aumenta la densità del liquido, non sia stata *compensata* coll'aggiunta di aqua, ciò che produce l'effetto inverso.

CAPITOLO VIII.

VASI COMUNICANTI.

164. Equilibrio dei liquidi nei vasi comunicanti. — Quando un liquido si trova in equilibrio in vasi, comunicanti fra loro nelle parti inferiori, le superfici libere nei diversi vasi, si trovano in uno stesso piano orizzontale. È questa una conseguenza diretta del fatto, che la superfice libera di un liquido è sempre orizzontale; giacchè, a partire da uno strato di livello, considerato nella parte inferiore del sistema, bisognerà elevarsi verticalmente di un'uguale quantità, in qualunque parte, per arrivare alla superfice libera corrispondente ad una stessa pressione. Così, nel sistema rappresentato dalla figura 136, si vede il liquido e levarsi alla stessa altezza nel vaso principale e nei tubi di diversa forma che sono in comunicazione con esso: se uno dei tubi ha un'altezza minore di quella del liquido nel vaso principale e termina affilato, si vedrà il liquido zampillare ed elevarsi presso a poco all'altezza del liquido nel vaso (1).

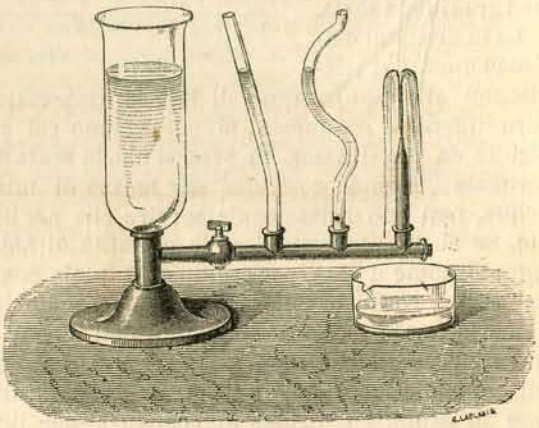


Fig. 136.

(1) Si consideri, nel tubo di comunicazione di due vasi comunicanti, contenenti uno stesso liquido di peso specifico d, una sezione verticale di area s; sieno h ed h' le altezze del liquido nei due vasi, misurate a partire dal centro di gravità della sezione. Onde lo straterello liquido che occupa la sezione stessa si trovi in equilibrio, dovranno essere uguali le pressioni contrarie sopportate dalle sue faccie, dovrà, cioè, essere:

$$s\,h\,d = s\,h'\,d,$$

ossia, sarà necessario che sieno appunto $h = h'$.

Questa conseguenza è vera quando sulle superfici libere del liquido agiscono uguali pressioni. In caso diverso, poste p e p' le pressioni, riferite, secondo il

Questa tendenza dei liquidi a porsi all' ugual livello in vasi comunicanti è molto importante e se ne fanno molte applicazioni. Così, se da un recipiente pieno d'acqua partono diverse condotte, diramantesi in qualunque direzione e circonvolute in qualsiasi modo, purchè le estremità di queste condotte riescano inferiori al livello del liquido nel serbatoio, l'acqua vi arriverà ed effluirà da esse: la velocità che l' aqua possiederà all' uscita, dipenderà, indipendentemente dalla differenza di livello, dalla forma e dallo sviluppo dei tubi. Questa velocità serve di base nella valutazione della quantità di aqua effluente in un tempo dato da una bocca e quindi alle regole di distribuzione nelle concessioni pubbliche; essa serve pure a determinare l' altezza alla quale l' aqua dovrà zampillare, quando si stabilisca un getto d'acqua all'estremità della condotta.

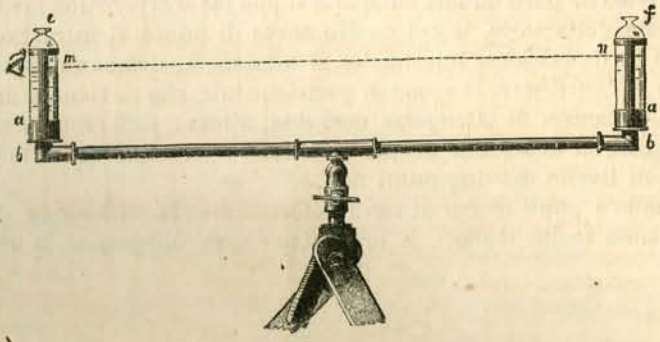


Fig. 137.

165. Livello ad aqua. — L'istrumento tanto conosciuto sotto il nome di livello ad aqua è un' applicazione del principio dei vasi comunicanti. Esso è formato (fig. 137) da un tubo di metallo *bb*, piegato ad angolo retto alle sue estremità; queste sono terminate da boccette *a*, *a* di vetro, di ugual diametro ed assai ristrette alla parte superiore. Il tubo è portato da un trepiede, terminato superior-

principio di Pascal, alla sezione s, la condizione di equilibrio sarà espressa dalla relazione:

$$p + s\,h\,d = p' + s\,h'\,d.$$

Da questa relazione si deduce poi:

$$p - p' = s\,(h' - h)\,d,$$

vale a dire, che la differenza tra le due pressioni è misurata dal peso di una colonna liquida, avente per base s e per altezza la differenza delle altezze dei liquidi nei due vasi.

Se $p' = o$, si avrà:

$$p = s\,H\,d$$

ponendo $h' - h = H$. NOTA DEL TRADUTTORE.

mente da un ginocchio che permette di far ruotare l'apparecchio, così da poterlo collocare in una direzione qualsivoglia: nel tubo, disposto *press'a poco* orizzontalmente, si pone dell'aqua, generalmente un po' colorata, in modo che si elevi nelle boccette a tre quarti circa della loro altezza.

Pel principio dell'equilibrio dei liquidi nei vasi comunicanti, le superfici libere dell'aqua nei due rami del livello, si trovano in uno stesso piano orizzontale; dimodochè, se si dirige un raggio visuale *m n* a rasentare le estremità delle colonne liquide, questo raggio riescirà orizzontale.

È questo il principio della *livellazione*, la quale ha per oggetto di trovare la differenza di *livello* o di altezza verticale di due punti dati del suolo. Si tratti dei punti *A* e *B* (fig. 138): si pone verticalmente in ciascuno dei punti una *biffa:* è questa formata da un regolo diviso in parti uguali, sul quale si può far scorrere una tavoletta quadrata, detta *scopo*, il cui centro serve di punto di mira. Posto il livello in una *stazione* intermedia, si *mira* successivamente ciascuna biffa e si fa arrestare lo scopo in posizione tale, che la visuale ne incontri il centro. Si ottengono così due altezze differenti (*battute*) sui regoli, la differenza di queste altezze è evidentemente la differenza di livello dei due punti dati.

Quando i punti di cui si deve determinare la differenza di livello sono molto lontani, e presentano una differenza di livello

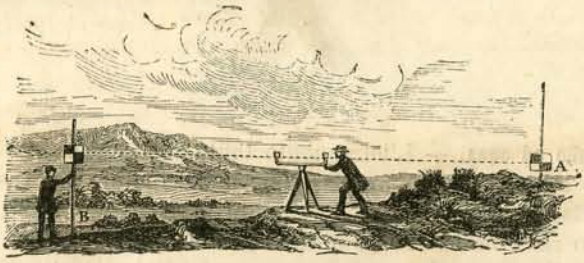


Fig. 138.

maggiore della lunghezza della biffa, si opera per stazioni successive e si deduce la differenza cercata, dalla combinazione delle *battute* intermedie.

166. Livelletta a bolla d'aria. — Queste osservazioni si eseguiscono più comodamente e con maggior esattezza colla livelletta a bolla d'aria. Questo strumento si compone di un tubo di vetro leggermente curvato (fig. 139), contenente un liquido, generalmente alcool, in modo da lasciare un piccolo spazio

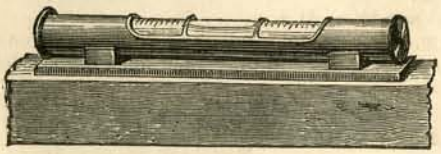


Fig. 139.

occupato da una bolla d'aria; questo tubo è incassato in una montatura fissata su di una lamina di ottone, detta *base*.

Fig. 140.

Si supponga che il tubo, piegato ad arco di cerchio, sia disposto su di un piano orizzontale (fig. 140); la bolla d'aria dovrà collocarsi in *M N* alla parte culminante del tubo, dimodoche gli archi *N A* ed *N B* saranno uguali: se si fa girare il livello di 180°, la bolla occuperà la stessa posizione, il punto *N* venendo in *M* e viceversa. Lo stesso non accadrebbe nel caso in cui il piano *A B* fosse inclinato all'orizzonte (fig. 141); giacchè allora, la distanza *M A* essendo differente di *N B*, dopo aver girato l'apparecchio di 180°, la bolla si disporrebbe, in una posizione simmetrica, all'estremo opposto del tubo. Sulla montatura sono segnati i limiti entro cui deve trovarsi la bolla quando l'apparecchio è posto su di un piano orizzontale: non occorrono più, in questo modo, due osservazioni per giudicare dell'orizzontalità di un piano.

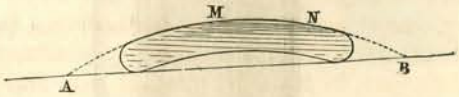


Fig. 141.

Perchè una superfice piana sia orizzontale, basta che due rette tracciate sulla superfice stessa siano orizzontali: praticamente si ottiene questo risultato facendo portare il piano da tre *viti di livello*, disposte ai tre vertici di un triangolo isoscele (fig. 142); si colloca dapprima la livelletta parallelamente alla base del triangolo, e, col mezzo di una delle viti, si riduce la bolla fra i suoi limiti: si colloca, in seguito, l'istrumento in una seconda posizione, perpendicolare alla prima, e, colla terza vite, si *centra* la bolla; questa seconda operazione non può distruggere il risultato della prima, giacchè il piano non ha fatto che girare intorno ad una linea orizzontale (1).

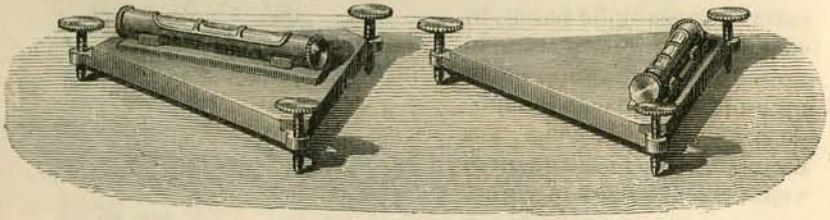


Fig. 142.

167. Equilibrio di due liquidi in vasi comunicanti. — Se, in due tubi comunicanti, si versa del mercurio, questo si eleverà alla stessa altezza nei due rami; si versi in seguito dell'acqua in uno dei vasi,

(1) Praticamente però sarà bene di verificare se, posta di nuovo la livelletta nella prima posizione, essa rimane centratrata, giacchè, spesso, l'operazione non riesce che dopo due o tre prove, nelle quali, i successivi movimenti delle viti, riescono sempre meno estesi.

NOTA DEL TRADUTTORE.

il mercurio verrà spinto dall' acqua e, allorquando l'equilibrio si sarà stabilito, le altezze dei due liquidi al di sopra della superfice di separazione, riesciranno assai diverse, come lo mostra la figura 143; queste altezze, dovendo corrispondere ad un' ugual pressione sulla superficie di separazione, riesciranno *inversamente proporzionali alle rispettive densità dei due liquidi* (1).

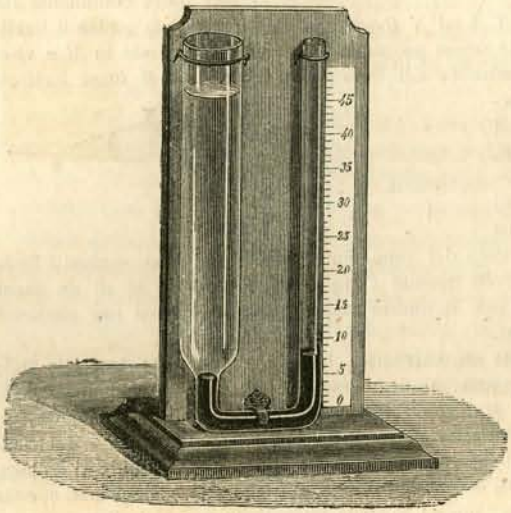


Fig. 143.

168. Capillarità — Fenomeni generali. — Le diverse condizioni d' equilibrio di cui si è parlato, presentano delle notevoli eccezioni quando i liquidi si trovino in vasi assai stretti, detti capillari (*capillus*, capello), oppure quando, qualunque sia la forma del vaso, si consideri la porzione di liquido in contatto immediato colle pareti.

1.° *Superfice libera.* L'orizzontalità della superfice di un liquido, non si verifica che ad una certa distanza dalle pareti; in contatto di queste, il liquido presenta una curvatura molto pronunciata; quando il liquido bagna il vaso, come, per esempio, succede dell'aqua col vetro (fig. 144), la superfice è concava; essa è convessa in-

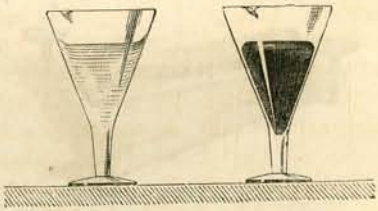


Fig. 144. Fig. 145.

(1) Ritenute le notazioni della nota a pag. 133, la condizione di equilibrio di due liquidi, di peso specifico d e d', nei vasi comunicanti, sarà espressa dalla relazione:

$$s\,h\,d = s\,h'\,d',$$

dalla quale infatti si deduce:

$$h : h' = d' : d.$$

Si intende che le pressioni sull' unità di superfice delle superfici libere dei liquidi sieno uguali, e che le altezze h ed h' sieno misurate a partire dallo strato di livello passante pel piano di separazione dei due liquidi stessi.

NOTA DEL TRADUTTORE.

vece quando il liquido non bagna, come ha luogo per il mercurio (fig. 145).

2.° *Elevamento e depressione capillare.* Se s'immerge un tubo capillare di vetro, aperto alle sue estremità, nell'acqua o in qualunque altro liquido capace di bagnarlo (fig. 146), si osserva che il livello all'interno riesce notevolmente superiore all'esterno; si ha un'*elevazione capillare*, la quale varia colla qualità del liquido e col diametro tubo; la colonnetta liquida termina con una superfice concava. Se s'immerge un tubo di vetro nel mercurio, che non lo bagna, avvicinando il tubo alla parete del vaso, si riconosce che il mercurio è depresso all'interno del tubo e termina con una superfice convessa (fig. 147).

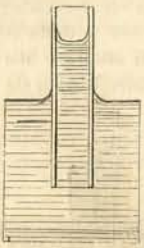


Fig. 146.

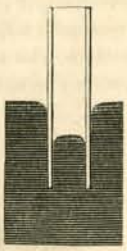


Fig. 147.

3.° *Vasi comunicanti capillari.* Se, in diversi tubi comunicanti (fig. 148), dei quali un ramo ha un diametro abbastanza grande, e l'altro è capillare, si versa, in alcuni, liquidi capaci di bagnare i tubi, negli altri del mercurio, si vede che, nel primo caso, il liquido arriva ad un livello più elevato nel ramo capillare; l'opposto accade pei secondi; le superfici terminali sono concave pei liquidi che bagnano i tubi, convesse pel mercurio.

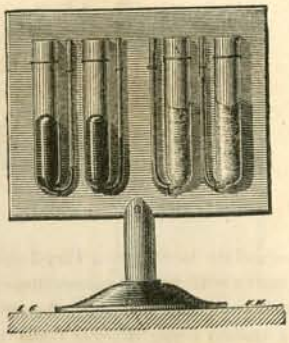


Fig. 148.

169. Circostanze che influiscono sull' elevamento e sulla depressione capillare. — Nei tubi bagnati, dal liquido l'ascensione dipende dalla qualità di questo; così, alla temperatura di 18°, l'aqua si eleva in un tubo di 1 millimetro di diametro, a $29^{m \cdot m}$, 79, l'alcool a 12^{mm}, 18, l'acido nitrico a 22^{mm}, 57, l'essenza di levanda a 4^{mm}, 28 ecc. La qualità del tubo è press'a poco senza influenza, purchè si abbia la precauzione di bagnarlo preventivamente col liquido sul quale si deve sperimentare.

Quando si tratti di depressioni, queste dipendono e dalla qualità del liquido e da quella del tubo. In ogni caso, l'ascensione o la depressione, diminuiscono coll'aumentare della temperatura. Così essendo l'ascensione dell'aqua a 0° di 152^{mm} a 100 essa si riduce a 106^{mm}. Sembra risultare, dalle osservazioni fatte in proposito, che vi sia, per ciascun liquido, una temperatura alla quale l'ascensione sarebbe nulla. Questo risultato si è verificato in alcune esperienze, d'altronde contestate, eseguite da Wolf.

170. Legge dei diametri. — Il fatto più importante da osservarsi, è l'influenza del diametro dei tubi: Gay-Lussac ha mostrato, pel primo, con una serie di ac-

curate esperienze, che *gli elevamenti e le depressioni capillari sono*, a parità di condizioni, *inversamente proporzionali ai diametri dei tubi*. Wolf, Quet, Ed. Dessains, ed altri, hanno ripetute, modificandole, le esperienze di Gay-Lussac. Il metodo consiste, essenzialmente, nel misurare l'elevamento capillare di un liquido, prendendo di mira successivamente, col cannocchiale *l l* di un catetometro (fig. 149), l'estremità superiore *n* della colonnetta nel tubo e le estremità inferiori di una punta *b*, che si fa affiorare alla superfice del liquido esterno, in una parte ove questa è orizzontale. Risulta da queste diverse esperienze, che, nel caso di tubi

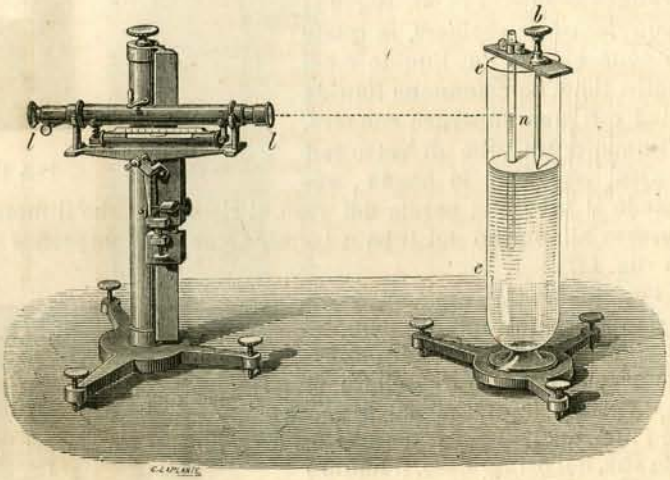


Fig. 149.

bagnabili, la legge di Gay-Lussac si verifica esattamente, purchè si abbia la precauzione di lavarli accuratamente e di bagnarli preventivamente col liquido da sottoporsi all'esperienza. Lo stesso non accade quando il liquido non bagna il tubo; in questo caso, diverse cause influiscono sulla forma del menisco e quindi anche sulla depressione, la quale è intimamente legata alla curvatura della superfice terminale: la conoscenza del diametro non basta dunque, in questo caso, alla deduzione della depressione; bisogna aggiungervi un elemento costitutivo del menisco, la grandezza della freccia, per esempio, o quella dell'angolo formato dagli ultimi elementi della superfice curva col tubo, o, come si dice, l'*angolo di raccordamento*.

171. Causa dei fenomeni capillari. — I fenomeni capillari dipendono dalle azioni molecolari che si esercitano, sia tra le molecole del liquido, sia tra il liquido ed il solido che lo contiene; è su questa idea fondamentale che riposa la teoria matematica di Laplace sulla capillarità, le deduzioni della quale furono, finora, trovate in perfetto accordo coll'esperienza. La capillarità agisce in modo importante in molti fenomeni della natura ed in particolar modo nell'ascensione del succo nei vegetali: si capisce infatti che, se in un tubo di un millimetro di diametro, l'aqua si eleva a circa 30^{mm},

questa altezza diventa di 9 o 10 metri, per un diametro di 3 centesimi di millimetro, tenuità questa presentata dai vasi delle piante: le antiche esperienze di Boucherie sull'iniezione dei legni, provano come il succo possa trascinare con sè i liquidi posti in comunicazione coi vasi: così, un tronco d'albero, tagliato al piede in piena vegetazione ed immerso in una vasca contenente un liquido, si trova, dopo qualche giorno, iniettato di questo liquido fino alla parte superiore.

L'aspirazione prodotta dalle foglie ha, senza dubbio, un'importante influenza in questo curioso fenomeno, giacchè esso non riesce completamente che allorquando si lasci, alla parte superiore, un certo numero di foglie; con tutto ciò, è certo che la capillarità vi interviene per una parte importante. È anche probabile che l'ascensione sia favorita da un'interessante particolarità, studiata da Jamin: quando in un tubo capillare si lascino entrare delle piccole bolle d'aria che frazionano la colonna liquida, la forza capillare cresce in modo significante; una *valvola* di questa specie può chiudere in un serbatoio dell'aria fortemente compressa, o, ciò che è più singolare, chiudere ermeticamente un recipiente nel quale siasi fatto il vuoto.

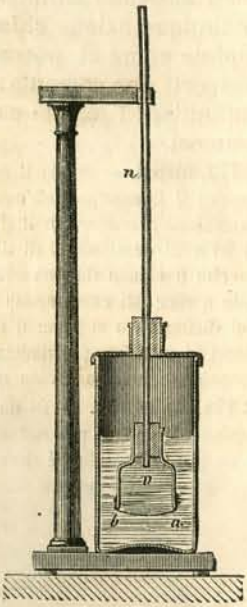


Fig. 150.

172. Endosmosi. — I fenomeni capillari hanno una grande analogia con un'importante fatto scoperto da Dutrochet e che da lui ha ricevuto il nome di *endosmosi*.

L'endosmometro (fig. 150) si compone di un serbatoio *v*, chiuso inferiormente da una membrana *b a*, e munito alla sua parte superiore di un lungo tubo. In questo serbatoio si pone dell'aqua gommata, per esempio, quindi lo s'immerge nell'aqua: dopo un certo tempo, si vede che il livello del liquido interno è salito fino in *n*, per esempio, e si trova, in pari tempo, che l'aqua del vaso esterno contiene della gomma. Se ne deduce che i liquidi hanno attraversato la membrana; in proporzioni differenti però: questo è il fenomeno di endosmosi. L'esperienza si produrrebbe nel medesimo senso, se non colla medesima intensità, se invece dell'aqua gommata s'impiegassero soluzioni zuccherine, albuminose o gelatinose. Il tramezzo membranoso potrebbe essere sostituito da una

lamina di legno, di argilla o di terra porosa. I fisiologi hanno, con ragione, dato una grande importanza alla scoperta di Dutrochet; essa dà infatti la spiegazione dello scambio continuo dei liquidi tra i tessuti ed i vasi negli esseri organizzati, dell'assorbimento dell'acqua per parte delle spungiole delle radici, e di molti fenomeni analoghi.

La causa dell'endosmosi non è ancora ben conosciuta; si osservi solamente, che l'azione riesce meglio pronunciata, quando i liquidi agiscono chimicamente sulla parete di separazione; siccome qualunque azione chimica dà luogo ad una corrente elettrica, si capisce come si possano collegare i fenomeni di endosmosi coi trasporti per corrente: si spiegherebbe così, come il calore, il quale diminuisce l'azione capillare, attiva all'opposto i fenomeni d'endosmosi.

173. Dialisi. — Si da il nome di *dializzatore* ad un apparecchio, col quale si applica il fenomeno dell'osmosi ad un modo di analisi chimica, detta *dialisi* (*separazione attraverso*). Il dializzatore di Graham è formato da un tubo cilindrico di 20 a 25 centrimetri di diametro, altro circa 5 centimetai, del quale, una delle bocche è chiusa da una membrana; generalmente si fa uso di *carta pergamena*, vale a dire, di carta senza colla, trattata opportunamente coll'acido solforico. Nel dializzatore si pone il liquido da analizzare, sotto uno spessore di 12 millimetri al massimo; il dializzatore poi vien posto a galleggiare in un recipiente, contenente una bastevole quantità d'aqua.

174. Diffusione. — Si dà il nome di diffusione al spontaneo mescolarsi di due liquidi eterogeni, per natura o per concentrazione, senza intervento d'azione chimica. La diffusibilità è diversa pei diversi liquidi, ed è proporzionale alla quantità di sale in soluzione.

CAPITOLO IX.

BAROMETRO.

175. Peso dell'aria e dei gas. — I gas possiedono un insieme di proprietà comuni coi liquidi; come questi essi trasmettono integralmente e in tutti i sensi le pressioni, conformemente al principio di Pascal; differiscono però essenzialmente dai liquidi per la permanente forza ripulsiva esercitantesi fra le loro molecole. L'espansibilità, in causa della quale una massa di gas tende ad assumere un volume sempre più grande, è sembrata, in altri tempi, in contraddizione colla legge della gravità che attira tutti i corpi verso il suolo. L'opinione che l'aria non fosse pesante ha prevalso per moltissimo tempo, o, per dir meglio, nessun scienziato prima di Galileo ebbe l'idea di attribuire importanza, nei fenomeni, al peso

dell'aria: siccome invece l'influenza del peso dell'aria è di un'importanza capitale, cosicchè si ha occasione di tenerne conto nella maggior parte dei fenomeni della fisica, e sopratutto in quelli più anticamente conosciuti, ne consegue che la scoperta del peso dell'aria ha determinato nella fisica, la quale infatto non esisteva che di nome, una specie di rinascimento, punto di partenza dei progressi successivi che si seguirono senza alcuna interruzione fino al presente.

Sembra però che Aristotile avesse pensato alla possibilità del peso dell'aria; per convincersene egli pesò una vescica successivamente gonfia e sgonfia d'aria; avendo ottenuto lo stesso peso nelle due circostanze, egli rinunciò all'idea concepita per un momento dalla sua mente. L'esperienza, così eseguita non poteva condurre che ad un risultato negativo, giacchè, infatti, se il peso della vescica aumentava da una parte per l'introduzione dell'aria, diminuiva dall'altra di una quantità equivalente, in causa dell'aumento di spinta per parte dell'aria spostata. Per poter dedurre una conclusione sicura bisognerebbe operare con un vaso il quale, mantenendo costante il volume esterno, potesse riempirsi d'aria in diverse condizioni.

Si deve a Galileo un'esperienza consistente nel pesare un pallone, dapprima pieno d'aria allo stato ordinario, quindi di aria compressa; Galileo avendo trovato il peso maggiore nel secondo caso che nel primo, ne dedusse che l'aria è pesante.

176. Esperienza d'Ottone de Guéricke. — Ottone de Guéricke, il celebre inventore della macchina pneumatica, eseguì nel 1650 la seguente decisiva esperienza:

Si fa il vuoto in un pallone di vetro capace (di circa 12 litri), munito di robinetto, lo si sospende ad uno dei piatti di una bilancia e si mette nell'altro la tara necessaria a ristabilire l'equilibrio (fig. 151); si apre allora il robinetto, l'aria entra nel pallone ed il giogo s'inclina gradatamente dalla parte di questo, dimodochè, per ristabilire l'equilibrio, si devono aggiungere dei

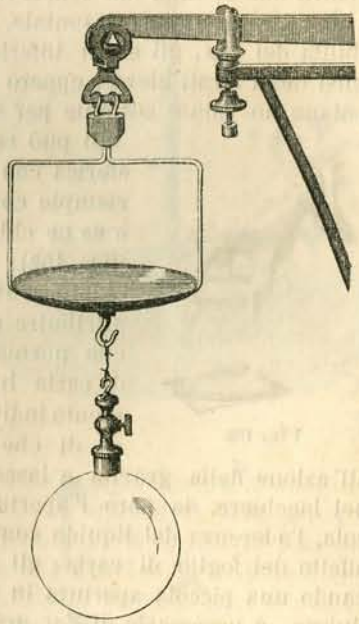


Fig. 151.

pesi nell'altro piatto. Se la capacità del pallone è, per esempio, di 12 litri, occorreranno, per ristabilire l'equilibrio, circa 15,^{gr}5; da ciò si deduce che il peso di 1 litro d'aria è circa di 1,^{gr}3.

Eseguendo questa esperienza con grande precisione si trova che, alla temperatura di 0°, e sotto la pressione di 760 millimetri, 1 litro d'aria secca pesa 1.^{gr}293. In queste condizioni il rapporto del peso dell'aria a quello dell'acqua, a parità di volume, è $\frac{1,293}{1000} = \frac{1}{772}$

L'aria pesa dunque 772 volte meno dell'acqua.

Ripetendo la stessa esperienza con altri gas, si può determinare il loro peso rispetto all'aria, ed il peso assoluto di 1 litro di ciascuno d'essi: Si trova così, per esempio, che 1 litro d'ossigeno pesa 1,^{gr}43, 1 litro d'acido carbonico 1,^{gr}94, 1 litro d'idrogeno 0,^{gr}087 ecc.

177. Pressione atmosferica. — L'aria atmosferica forma intorno alla terra uno strato, che si ha motivo di credere dell'altezza di 60 ad 80 chilometri; questa massa fluida pesante esercita sui corpi pressioni che, per la loro origine e per la loro natura, sono analoghe a quelle sopportate da un corpo immerso in un liquido; queste pressioni soggiaciono alla legge fondamentale di cui si è detto al § 137.

A partire dalla superficie del suolo, la pressione diminuisce a misura che si sale, ma conserva lo stesso valore nei diversi punti di uno stesso strato orizzontale. A motivo della grande compressibilità dei gas, gli strati inferiori dell'atmosfera sono assai più densi degli strati elevati, epperò la densità, come la pressione, presentano un valore costante per ogni strato di livello.

Fig. 152.

Si può rendere evidente la pressione atmosferica con una semplicissima esperienza: si riempie completamente d'acqua un bicchiere e se ne chiude la bocca con un foglio di carta (fig. 152); si può allora capovolgere il bicchiere senza che il liquido cada; ciò devesi attribuire alla pressione che l'atmosfera esercita normalmente sul foglio di carta. Il foglio di carta ha per effetto d'impedire il movimento individuale delle particelle liquide, senza di che esse obbedirebbero separatamente all'azione della gravità e lascerebbero adito all'aria d'introdursi nel bicchiere. Se però l'apertura del vaso fosse abbastanza piccola, l'aderenza del liquido contro le pareti produrrebbe lo stesso effetto del foglio di carta: gli è così, per esempio, che, praticando una piccola apertura in una botte piena, il liquido non effluisce, è necessario di *dar aria* alla parte superiore, per mezzo

di una seconda apertura. L'esperienza precedente potrebbe ripetersi con vasi di altezza successivamente più grande, allo scopo di misurare l'intensità della pressione atmosferica; questo sarebbe però un processo grossolano. Devesi a Torricelli un'esperienza celebre la quale, mentre mette in evidenza la pressione atmosferica, permette di misurarne l'intensità con molta esattezza; quest'esperienza, eseguita nel 1643, un anno dopo la morte di Galileo, in un'epoca nella quale il peso e la pressione dell'aria erano malappena supposte, ha reso immortale il nome del suo autore ed ha esercitato una grande influenza sul progresso della fisica

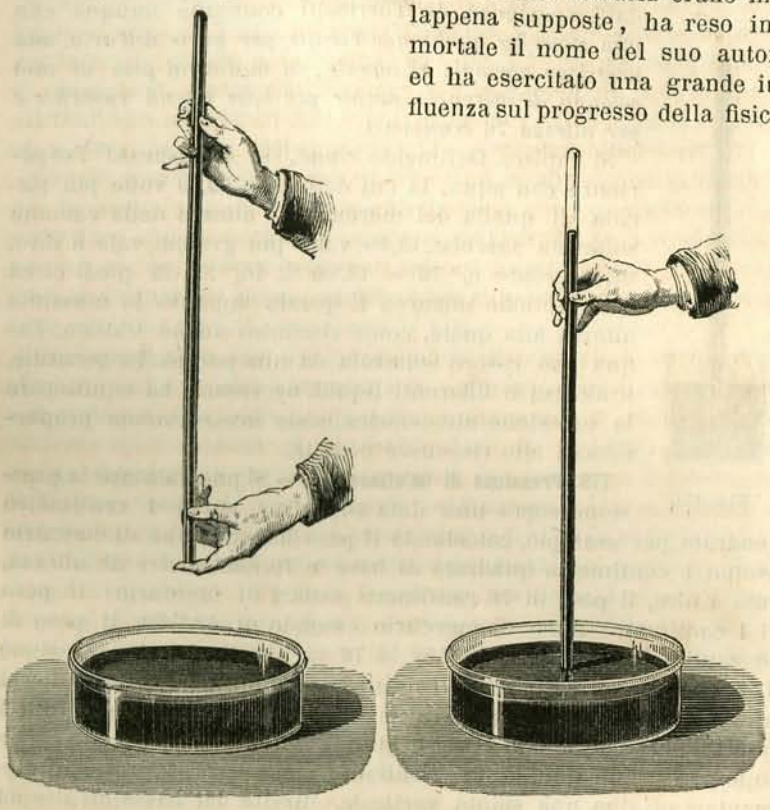


Fig. 153.

178. Esperienza di Torricelli. — Si riempie completamente di mercurio un tubo di vetro di 6 a 8 millimetri di diametro, e di circa 80 centimetri di lunghezza (fig. 153), e chiuso ad un capo; dopo d'averne chiusa l'altra estremità col dito, lo si capovolge, e lo si immerge nel mercurio contenuto in una vaschetta: levato il dito si vede il mercurio discendere nel tubo ed arrestarsi ad un'altezza, variabile secondo le circostanze, ma che, nelle nostre regioni, è in media di 76 centimetri.

Superiormente alla colonna di mercurio si ha uno spazio vuoto di materia ponderale ed è evidente che la sospensione del liquido devesi attribuire alla pressione atmosferica esercitantesi alla superfice del mercurio nella vaschetta. Si può maggiormente rischiarare questa spiegazione, osservando come i diversi punti della superfice orizzontale *A B C D* (fig. 154) sopportano un'uguale pressione; la porzione *B C* è dunque premuta dalla colonna di mercurio come lo sarebbe dall'aria (1): dall'esperienza di Torricelli consegue dunque che *una superfice qualunque risente, per parte dell'aria, una pressione normale ed uguale, in media, al peso di una colonna di mercurio avente per base questa superfice e per altezza 76 centimetri.*

Fig. 154.

Si capisce facilmente come, se si ripetesse l'esperienza con aqua, la cui densità è 13,59 volte più piccola di quella del mercurio, l'altezza della colonna sollevata sarebbe 13,59 volte più grande, vale a dire, misurerebbe $0,^{m}76 \times 13,59 = 10,^{m}33$ (32 piedi circa delle antiche misure). È questa appunto la massima altezza alla quale, come riscontrò anche Galileo, l'aqua può essere sollevata da una pompa. In generale, le altezze di differenti liquidi necessarie ad equilibrare la pressione atmosferica, sono inversamente proporzionali alle rispettive densità.

179. Pressione di un'atmosfera. — Si può valutare la pressione sopra una data superfice, su di 1 centimetro quadrato per esempio, calcolando il peso della colonna di mercurio avente 1 centimetro quadrato di base e 76 centimetri di altezza, vale a dire, il peso di 76 centimetri cubici di mercurio: il peso di 1 centimetro cubo di mercurio essendo di $13,^{gr}59$, il peso di 76 centimetri cubi è di $13,^{gr}59 \times 76 = 1,^{k}033$. Questa pressione di 1 chilogrammo circa per centimetro quadrato è ciò che dicesi pressione di *un'atmosfera*; essa si esercita normalmente in tutti i punti della superfice dei corpi e quindi, come accade per un corpo immerso in un liquido, la risultante delle diverse pressioni elementari origina una spinta verticale, diretta dal basso all'alto ed uguale al peso dell'aria spostata. L'aria non ha dunque per effetto, come si era creduto, di premere i corpi contro la superfice del suolo; essi anzi tendono ad essere dall'aria sollevati, come lo sarebbero da un liquido, con una forza però poco significante, in causa della piccola densità dell'aria: è su questo principio che si fondano gli areostati, dei quali si tratterà in seguito.

(1) Ciò risulta anche dalla relazione $p = s H d$, citata nella nota a pag. 137.

180. Esperienza di Pascal. — Si ritiene, senza che se ne abbiano prove abbastanza sicure, che Torricelli abbia avuto da Galileo il concetto della pressione atmosferica (1).

Checchè ne sia, quando l' esperienza dello scienziato italiano si conobbe in Francia, nel 1644, nessuno era in grado di darne la giusta interpretazione, e la celebre dottrina dell'orrore della natura pel vuoto, colla quale si spiegava l'ascensione dell'aqua nelle pompe, era generalmente accettata. Fu Pascal che stabilì in modo incontestabile la falsità di questa vecchia teoria e pervenne a far prevalere la giusta. A tale scopo egli propose ed eseguì una serie di ingegnose esperienze, discusse minuziosamente i fatti che si attribuivano all' orrore pel vuoto e mostrò come questi non fossero altro che una conseguenza della pressione atmosferica.

Fra le diverse esperienze di Pascal è notevole quella eseguita per la prima volta a Clermont, sulla cima del Puy-de-Dôme il 19 settembre 1648, avente per iscopo di mostrare che il mercurio si solleva ad un' altezza sempre minore a misura che si va elevandosi al disopra del suolo; questa bella e decisiva esperienza si ripete ogni qualvolta si misurano le altezze col barometro.

181. Barometro. — Installando in modo permanente il tubo di Torricelli, si ha il mezzo di misurare in qualunque momento la pressione atmosferica, giacchè questa pressione si può esprimere coll'altezza della colonna di mercurio che le fa equilibrio; un'istrumento di questa specie dicesi barometro. Per costruire il barometro si devono osservare certe regole indispensabili; è essenziale di usare di un liquido sempre perfettamente identico a sè stesso, giacchè l'altezza della colonna sollevata, dipendendo naturalmente dalla densità del liquido adoperato, se questa variasse, le osservazioni fatte coi diversi istrumenti non sarebbero comparabili fra loro. Si fa uso di mercurio chimicamente puro (2); dopo averlo riempito

(1) I fontanieri del Granduca di Toscana avendo installato delle pompe di 40 a 50 piedi di altezza, non poterono sollevare l'aqua fino alla parte superiore di queste. Galileo, essendosi assicurato dell'altezza alla quale si fermava l'aqua, la trovò di circa 32 piedi, e, questo filosofo, che aveva scoperto e dimostrato il peso dell' aria, potè facilmente pensare che fosse appunto il peso della colonna atmosferica quello che faceva equilibrio ai 32 piedi d'aqua rimasti in sospensione nei corpi di pompa. Ciononostante non si poteva sperare di cavare da questa idea utili applicazioni; più tardi Torricelli se ne approfittò e la fecondò meravigliosamente; volendo ripetere l'esperienza in modo più comodo, imaginò di sostituire all'aqua un liquido quattordici volte più pesante, il mercurio, giudicando che una colonna quattordici volte più corta farebbe così equilibrio a questa forza che sosteneva 32 piedi d'aqua » (Biot, *Biographie universelle*, Articolo Torricelli).

(2) Si purifica ordinariamente il mercurio lavandolo con un acido allungato e sottoponendolo poscia alla distillazione.

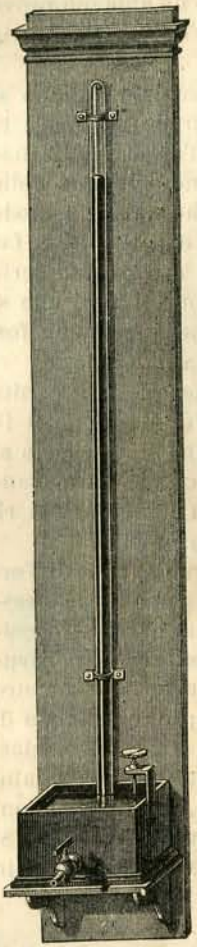


Fig. 155.

quasi completamente, si pone il tubo barometrico su di un fornello inclinato e si fa bollire il liquido.

Questa operazione ha per iscopo di eliminare l' aria e l'umidità che possono essere contenute nella colonna di mercurio, le quali, senza questa precauzione, elevandosi nella camera barometrica, darebbero luogo ad una depressione che toglierebbe qualunque precisione alle pressioni osservate: si termina di riempire il tubo con mercurio puro, avendo cura di non lasciar entrare alcuna bolla d' aria; finalmente si capovolge il tubo stesso in una vaschetta contenente del mercurio puro e bollito di recente, e lo si fissa poi in una posizione verticale, come lo mostra la figura 155.

Si ha così un barometro fisso; per avere, ad un momento qualunque, la misura della pressione atmosferica, basta misurare l'altezza della colonna di mercurio al disopra del livello del liquido nella vaschetta. Perciò è collocata al disopra di quest'ultima un'asticina di ferro, mobile in una madrevite e terminante alle sue due estremità in punte affilate; si riduce la punta inferiore a sfiorare la superficie del mercurio nella vaschetta e si misura allora la distanza dall'estremo della punta superiore all'estremo della colonna di mercurio; aggiungendo a questa distanza la lunghezza dell' asticina, determinata una volta per tutte, si ha l'altezza barometrica. Questa misura si può eseguire con grande esattezza usando dell'istrumento rappresentato dalla figura 156, detto catetometro (1).

(1) Il catetometro e un' istrumento del quale si fa spesso uso in fisica per misurare la distanza verticale tra due punti. È esenzialmente formato da un regolo verticale graduato che può dolcemente girare intorno ad un robusto asse d'acciajo, portato da un piede sostenuto da viti di livello e munito di livellette. Lungo il regolo può farsi scorrere un corsojo portante un cannocchiale munito di reticolo, così da determinare la visuale; il cannocchiale stesso porta una livelletta. Per mezzo di una vite di pressione si può fermare il corsojo in una data posizione e ridurvelo rigorosamente per mezzo di una vite micrometrica. Presi di mira successivamente i due punti dei quali si vuol misurare la distanza verticale, questa è data, per mezzo di un nonio, dallo spazio descritto dal corsojo. Questo apparecchio venne immaginato da Dulong e Petit.

182. Barometro di Fortin. — Il barometro di cui si è detto è un barometro fisso; se l'istrumento deve essere trasportato, si fa uso del barometro di Fortin, che d'altronde è il più usitato. La vaschetta (fig. 157), formata da un tubo di bossolo, è terminata alla parte superiore da un tubo di vetro, e chiusa inferiormente

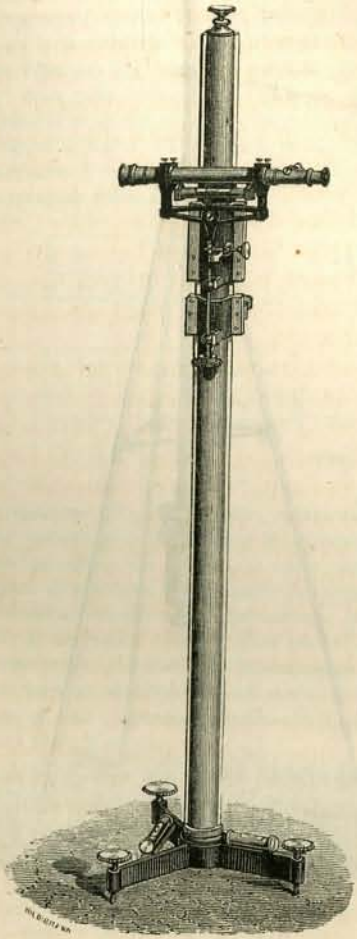


Fig. 156.

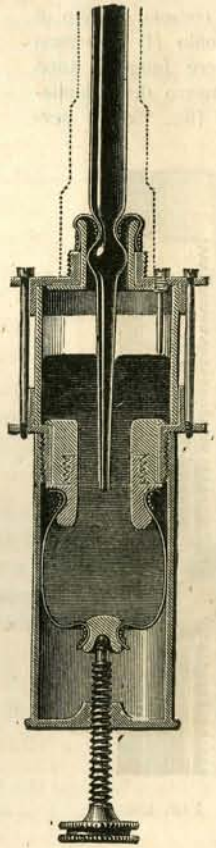


Fig. 157.

da un pezzo di pelle che può essere alzato od abbassato col mezzo di una vite. Questa vite passa attraverso ad una madrevite praticata nell'astuccio di ottone che copre la parte superiore e la inferiore della vaschetta, lasciando scoperta la parte di mezzo onde si possa vedere, attraverso al vetro, il livello del mercurio. Il tubo barometrico è chiuso in un astuccio di ottone nel quale sono praticate due finestre opposte, e porta incisa la graduazione; l'origine di questa è all'estremità inferiore di una punta d'acciaio o d'avorio, fissata al coperchio della va-

schetta. Un termometro, il di cui serbatoio è applicato contro il tubo, fornisce la temperatura del mercurio, temperatura che è necessario di conoscere per poter effettuare le correzioni di cui si dirà innanzi.

Un corsoio, munito di un nonio (1) può farsi scorrere lungo il tubo per mezzo della dentiera *B* (fig. 158), e per-

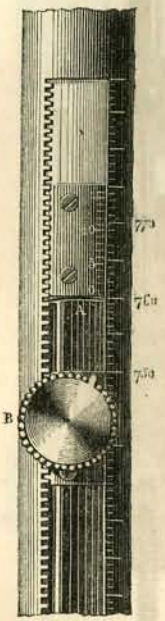


Fig. 158.

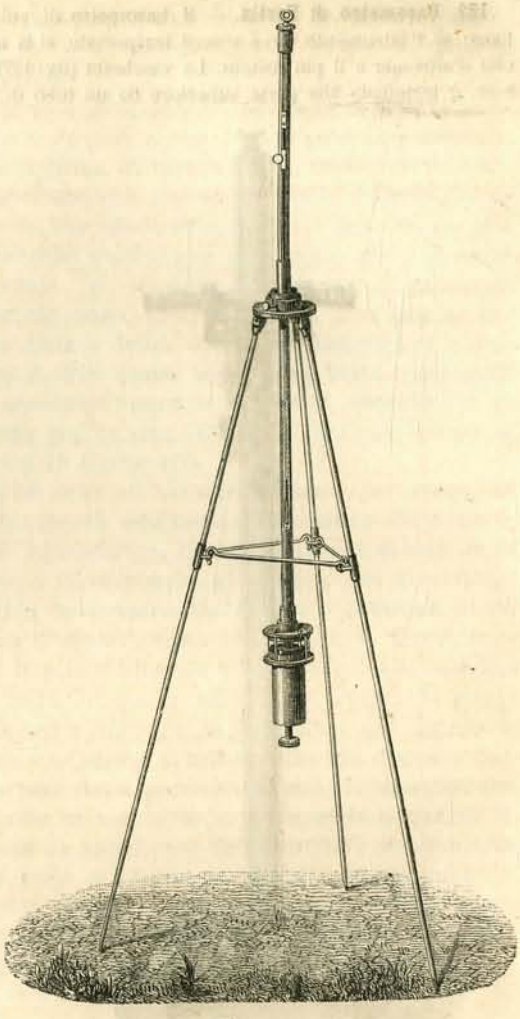


Fig. 159.

(1) Il nonio o verniero è un istrumento di uso assai generale e serve ad apprezzare le frazioni d'unità di lunghezza, tracciate su di un regolo : eccone il principio. Si immagini un regolo diviso in millimetri e si consideri un secondo regolo (fig. 160) lungo 9 millimetri e diviso in 10 parti uguali. Si supponga di far coincidere l'estremità del nonio con una delle divisioni del regolo ; ogni divisione del nonio essendo lunga 9/10 di millimetro, è chiaro che il primo tratto del verniero rimarrà indietro, dal primo tratto del regolo di 1/10 di millimetro, dal secondo di 2/10, e così di seguito fino al decimo del nonio che coinciderà col nono del regolo. Ciò posto, si supponga che, misurando una certa lunghezza, la si trovi compresa tra le graduazioni 5 e 6 del regolo ; si colloca al-

mette di valutare l'altezza della colonna barometrica con molta precisione; lo zero del nonio corrisponde al lembo inferiore del corsoio. Merita menzione il modo con cui il tubo barometrico è fissato sulla vaschetta: la guarnitura di ottone della vaschetta presenta al centro della sua parte superiore un'apertura sormontata da un piccolo tubo dello stesso metallo; questo tubo (fig. 157) è foderato internamente con un tubo di bossolo, nel quale si fa passare il tubo barometrico; ve se lo si stabilisce poi con un pezzo di pelle di camoscio: si ha così una chiusura ermetica pel mercurio ma non per l'aria, la quale, passando attraverso ai pori della pelle, entra nella vaschetta e trasmette così la sua pressione.

Quando si debba fare un'osservazione, dapprima, per mezzo della vite inferiore, si riduce il livello del mercurio nella vaschetta in contatto colla punta; questa operazione è ben eseguita quando l'estremità della punta tocca l'estremità della sua imagine riflessa nel mercurio; si fa allora scorrere il corsoio e lo si ferma in

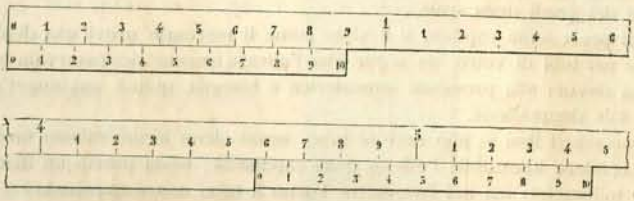


Fig. 160.

una posizione tale, che il piano orizzontale passante per lo zero sia tangente alla parte superiore della colonna di mercurio; ciò si eseguisce facilmente giacchè, in tale posizione del corsoio, si cessa dallo scorgere l'intervallo illuminato tra la colonna di mercurio ed il lembo del nonio.

Volendosi trasportare l'istrumento, si innalza la vite in modo da riempire il tubo; la vaschetta resterà pure piena; si può allora capovolgere il barometro, ciò che rende più difficile l'introduzione dell'aria, e trasportarlo facilmente.

Per fare un'osservazione sul suolo, si appende l'apparecchio ad un trepiede per mezzo di una sospensione cardanica (fig. 159), cosicchè esso rimanga sempre disposto verticalmente.

183. Correzioni dell'altezza barometrica. — Onde le altezze barometriche sieno comparabili fra loro e si possano considerare come la misura delle pressioni, è necessario di applicare loro alcune correzioni.

lora il nonio in seguito alla lunghezza da misurarsi e si osserva qual'è il tratto del nonio che coincide con un tratto del regolo; dalla figura si scorge che è il settimo; se ne conclude dunque che la frazione da valutarsi è di 7/10 di millimetro

Se si facesse il nonio lungo 19 parti e diviso in 20 parti uguali, si potrebbero apprezzare i ventesimi di millimetro, esiste però un limite nell'esattezza che si può in questo modo ottenere. In fatto la esatta coincidenza di due tratti la si osserva raramente, ed allora si computa il tratto più vicino a coincidere: quando la differenza fra i tratti del nonio e quelli del regolo è assai piccola, può accadere che l'incertezza di tale apprezzamento sia più che sufficiente a compensare l'esattezza teorica dell'istrumento. Si usa del nonio anche negli istrumenti che servono alla misura degli angoli; quando il cerchio è diviso in mezzi gradi, si fa uso di un nonio che fornisce i trentesimi e dà quindi i minuti.

1.° I corpi tutti dilatandosi per l'azione del calore, ne segue che il mercurio non ha lo stesso peso specifico alle diverse temperature; si deve pertanto ridurre l'altezza letta a quella che essa sarebbe se il mercurio fosse a 0°. Poste h l'altezza osservata alla temperatura t, h_0 l'altezza corretta, d e d_0 i pesi specifici alle temperature t e 0°, la pressione corrispondente all'altezza osservata, riferita all'unità di superfice, è espressa da $h\,d$ o da $h_0\,d_0$, così si ha $h\,d = h_0\,d_0$ e quindi $\frac{h_0}{h} = \frac{d}{d_0}$: come si vedrà innanzi $\frac{d}{d_0} = \frac{1}{1 + m\,t}$, m essendo il coefficiente di dilatazione del mercurio, uguale ad $\frac{1}{5550}$: se ne deduce:

$$h_0 = h\,\frac{5550}{5550 + t}.$$

Nei casi in cui occorra una singolare precisione si tien calcolo anche della dilatazione dei gradi della scala.

2.° Nel precedente capitolo si è visto come il mercurio provi una depressione capillare nei tubi di vetro, ne segue che l'altezza barometrica osservata è minore di quella dovuta alla pressione atmosferica e bisogna quindi aggiungervi la misura di tale depressione.

Nei barometri fissi si può dare al tubo, senza alcun inconveniente, un diametro tale da rendere insensibile l'effetto della capillarità; basta perciò un diametro da 28 a 30 millimetri; ma nel barometro Fortin il tubo non sorpassando i 5 o 6 millimetri di diametro, la correzione è necessaria (1). A tale scopo si fa uso di tavole delle quali si dà qui un saggio:

Raggio del tubo in millimetri	ALTEZZA DELLA FRECCIA DEL MENISCO								
	0, 2	0, 3	0, 4	0, 5	0, 6	0, 7	0, 8	0, 9	1
2	0, 60	0, 89	1, 16	1, 41	1, 65	1, 86	2, 05	2, 21	2, 35
2, 4	0, 40	0, 60	0, 79	0, 97	1, 14	1, 29	1, 44	1, 57	1, 68
2, 8	0, 29	0, 43	0, 56	0, 69	0, 82	0, 95	1, 04	1, 14	1, 24
3	0, 24	0, 36	0, 48	0, 59	0, 70	0, 80	0, 90	0, 99	1, 07
3, 4	0, 18	0, 27	0, 36	0, 44	0, 52	0, 60	0, 68	0, 75	0, 91
3, 8	0, 14	0, 21	0, 27	0, 34	0, 40	0, 46	0, 52	0, 57	0, 62
4	0, 12	0, 18	0, 24	0, 30	0, 35	0, 40	0, 46	0, 50	0, 55
4, 4	0, 09	0, 14	0, 19	0, 25	0, 27	0, 32	0, 36	0, 40	0, 45
4, 8	0, 07	0, 11	0, 15	0, 18	0, 22	0, 25	0, 28	0, 31	0, 34
5	0, 07	0, 10	0, 13	0, 16	0, 19	0, 22	0, 21	0, 28	0, 31

3.° Quando si tratti di comparare altezze osservate in luoghi diversi, è, di più, necessario di tener conto delle variazioni della gravità. Infatti il peso di una colonna di mercurio di una data altezza non è lo stesso pei diversi luoghi. Le altezze che, a parità di temperatura, fanno equilibrio ad una stessa pressione sono inversamente proporzionali alle rispettive intensità della gravitazione. Sia h l'altezza osservata in un luogo dove l'intensità è g; sia x l'altezza corrispondente in un luogo dove l'intensità è G, si avrà:

$$\frac{g}{G} = \frac{x}{h} \text{ da cui } x = h\,\frac{g}{G}$$

(1) Vedasi il barometro Cantoni a pag. 156.

184. Barometri ordinari. — I barometri di cui si è parlato servono per le osservazioni precise, per gli usi comuni si costruiscono strumenti di esecuzione meno accurata, dei quali ecco un cenno.

Barometro a vaschetta. — Il barometro ordinario a vaschetta (fig. 161) si compone di un tubo immerso in una vaschetta, alla quale si dà generalmente la forma mostrata dalla figura; a lato del tubo è disposta una scala graduata, la di cui origne corrisponde al livello medio del mercurio nella vaschetta. Da questa disposizione consegue che lo zero della scala si troverà ora all' esterno, ora all'interno del mercurio nella vaschetta, giacchè, cambiando il livello del mercurio nel tubo, cambia necessariamente in senso opposto nella vaschetta; le altezze osservate presenteranno dunque un errore in un senso o nell'altro: si rendono questi errori molto piccoli, quasi trascurabili, dando alla vaschetta una sezione abbastanza grande, rispetto a quella del tubo.

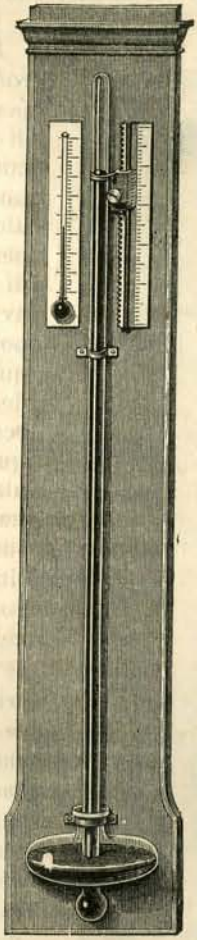


Fig. 161.

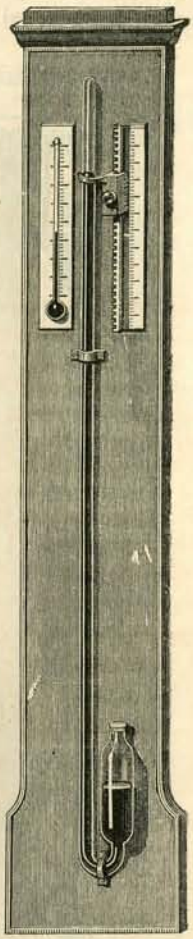


Fig. 162.

Barometro a sifone. — Il barometro a sifone (fig. 162) è formato da un tubo ricurvo di cui il ramo breve è aperto, ed il ramo lungo è chiuso alla sua estremità. Si riempie di mercurio il ramo più lungo, quindi si raddrizza l'istrumento in modo che l'aria non vi si possa introdurre.

La pressione atmosferica è misurata dalla differenza di livello del mercurio nei due rami. Si applica il tubo sopra una scala il di cui zero è al livello medio del liquido nel piccolo ramo; questo

si tiene abbastanza largo così che le variazioni di livello vi riescano poco sensibili (1).

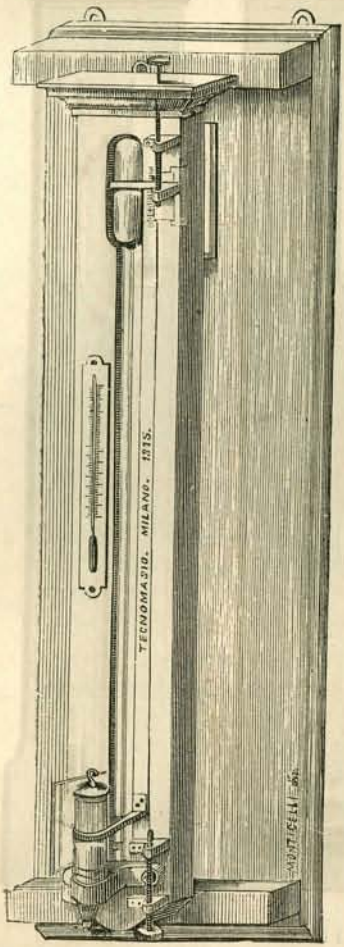


Fig. 163.

Barometro a quadrante. — Il barometro a quadrante, molto usato per gli appartamenti, è formato di un barometro a sifone: sul mercurio del ramo aperto galeggia un pezzetto di ferro sospeso ad un filo, questo si avvolge ed è fissato per l'altro suo estremo sulla gola di una carrucola; un altro filo, avvolto parallelamente al primo, porta un contrappeso che fa equilibrio al galleggiante; all'asse della puleggia è fissato un indice scorrevole su di un quadrante; quando il livello del mercurio si alza o si abbassa, il galleggiante ne segue i movimenti, restando immerso sempre della stessa quantità; sotto l'azione del contrappeso la puleggia gira insieme all'indice, il quale segna così sul quadrante le corrispondenti altezze barometriche. La montatura del quadrante si dispone generalmente dinanzi al tubo in modo da dissimilarne la presenza. Il barometro a quadrante è di invenzione antichissima; esso venne imaginato dal celebre Hoock nel 1683; in seguito questo barometro venne perfezionato, sostituendo alla puleggia una piccola ruota dentata che ingrana con una dentiera fissata verticalmente al galleggiante (fig. 162).

(1) A togliere questo errore nella lettura, si applicano sulla tavoletta due scale, una ascendente, l'altra discendente, aventi lo 0 comune nel mezzo dell'altezza dell'apparecchio. L'altezza barometrica è allora evidentemente data dalla somma delle distanze misurate dallo 0 alla superfice libera del mercurio in ciascun ramo. Si fa anche uso di una *scala mobile*, che si fa scorre per mezzo di una vite micrometrica: in questo modo si può sempre far coincidere lo 0 della scala col livello del mercurio nel ramo aperto.

Ciò non pertanto il barometro a sifone è meno preciso del barometro For-

Il difetto di questi apparecchi è di presentare una certa inerzia in causa dell'attrito degli organi accessori aggiunti al barometro ordinario; convien quindi, quando si vuol fare l'osservazione, di fa-

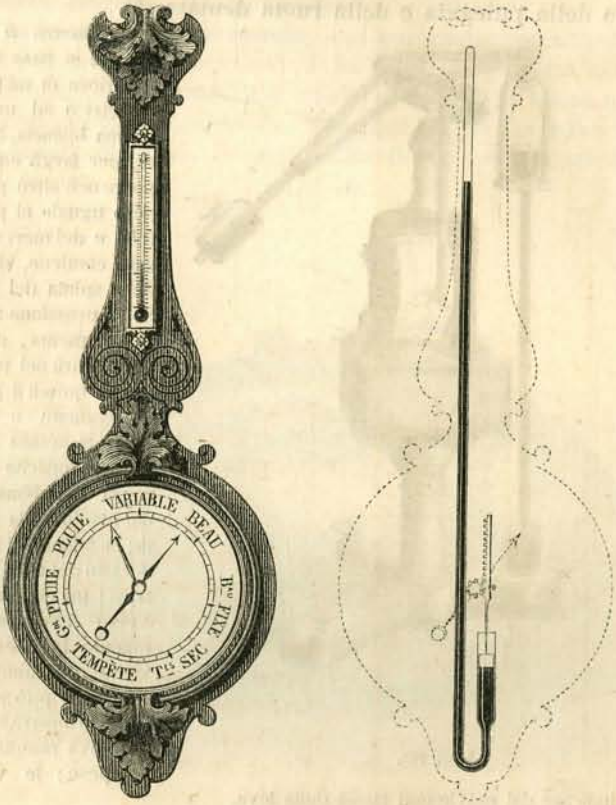


Fig. 161.

tin, giacchè gli effetti della capillarità non si compensano, come si era supposto; infatti, anche a parità di diametro dei rami del tubo, riesce più forte la convessità del menisco esposto all'aria. Si aggiunga che, l'ossidarsi del mercurio nel ramo aperto, offusca il vetro e rende difficile lo stabilire il livello. Il prof. Cantoni modificò il barometro a sifone in modo da togliere questi diffetti e farne un buon barometro per gli osservatori metereologici. Le due camere in cui avvengono le variazioni di livello hanno il diametro di 20 a 30 millimetri (fig. 163) così da rendere sicura la lettura dei due livelli e da ridurre insensibile l'azione della capillarità. Questa disposizione permette anche di ripulire facilmente dall'ossido il mercurio nella camera aperta.

Gay-Lussac modificò il barometro a sifone e lo rese, pel poco peso, comodo da trasportarsi.

NOTA DEL TRADUTTORE.

cilitare i movimenti dell'indice per mezzo di piccole percosse sul quadrante: questi barometri hanno il vantaggio di dare indicazioni più apparenti, giacchè, infatti, la corsa dell'estremità dell'indice sta a quella del mercurio nel rapporto della lunghezza dell'indice stesso al raggio della puleggia o della ruota dentata (1).

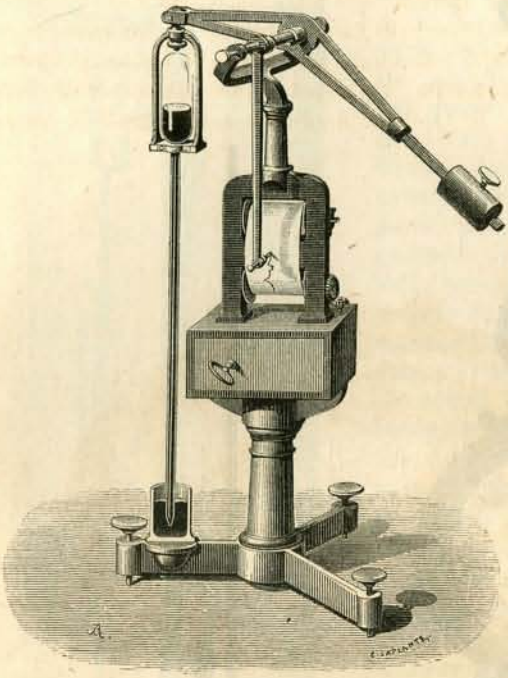


Fig. 165.

Barometro a Bilancia. Se si fissa la parte superiore di un tubo barometrico ad un piatto di una bilancia, bisognerà, per fargli equilibrio, porre nell'altro piatto un peso uguale al peso del tubo e del mercurio che esso contiene, diminuito della spinta del liquido. Se la pressione atmosferica aumenta, del mercurio salirà nel tubo; aumenta quindi il peso del galleggiante e d'altra parte la spinta diminuisce di qualche cosa, in causa dell'abbassamento del livello nella vaschetta; la bilancia si inclinerà dal lato del tubo barometrico; un fenomeno inverso avrebbe luogo quando la pressione avesse a diminuire. Alla bilancia si può sostituire, come lo mostra la fig. 165, una leva munita di contrappeso; le variazioni saranno indicate dai movimenti stessi della leva.

Un tale istrumento è molto atto per servire di *barometrografo* o barometro registratore. Basta infatti di far portare, da un pezzo dipendente dalla leva, un organo scrivente che si appoggi costantemente su di un foglio di carta, alla quale è impresso, per mezzo di un movimento di orologeria, un moto di traslazione uniforme; se ne otterrà una linea continua le di cui diverse ondulazioni danno, a prima vista, l'idea generale dell'andamento della pressione: gli è del resto facile di ricavare anche a qual pressione effettiva corrisponde una posizione data

(1) Il costruttore Frascoli di Milano ha modificato il barometro a quadrante in modo da eliminare in gran parte l'inconveniente sopracitato; alla semplice carrucola è sostituito un piccolo tribometro. In questo barometro le disposizioni sono tali da poter fare anche, per mezzo di nonio, la lettura diretta dell'altezza del mercurio, come in un semplice barometro a sifone.

NOTA DEL TRADUTTORE.

della matita sulla carta; se su di questa furono tracciate 24 linee equi distanti corrispondenti alle 24 ore del giorno, si potrà rilevare, a primo colpo d'occhio, la variazione esatta delle pressioni ai diversi momenti della giornata. Gli è appunto una disposizione di questo genere che venne addottata dal padre Secchi pel meteorografo dell'osservatorio romano, un modello del quale attirò l'attenzione all'esposizione universale di Parigi nel 1867.

185. Barometri metallici o aneroidi. — I barometri metallici sono fondati sul fatto del cambiamento di forma provato da un vaso di metallo a pareti assai sottili, nel quale siasi fatto il vuoto, quando la pressione atmosferica cambia. Vidie pel primo ha superate, dopo perseveranti ricerche, le molte difficoltà di costruzione di questi

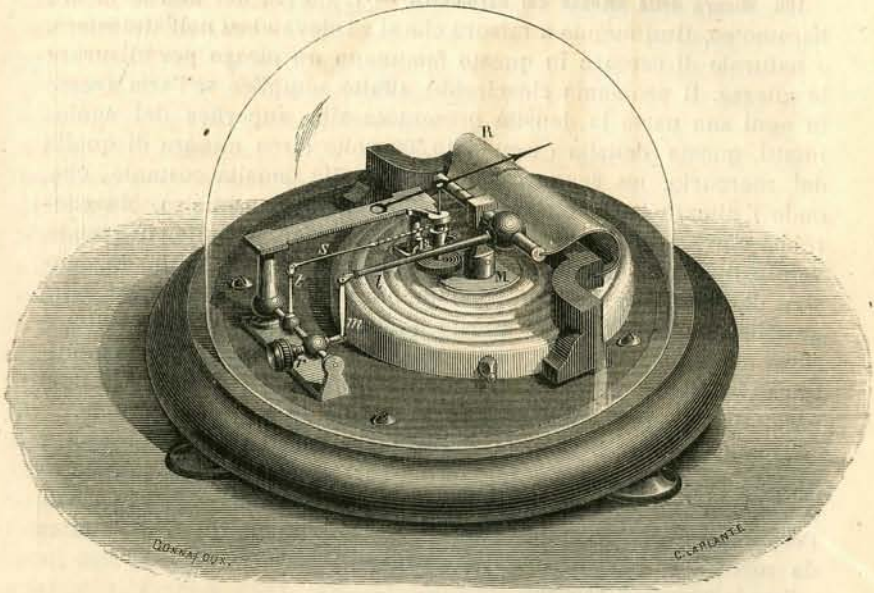


Fig. 166.

strumenti: la figura 166, rappresenta l'ultimo modello a cui Vidie si è fermato.

La parte principale n'è una scatola cilindrica nella quale è fatto il vuoto e la di cui faccia superiore è ondulata, allo scopo di accrescere la superfice su cui si esercita la pressione; sul centro della scatola s'innalza una piccola colonnetta di metallo M, in relazione coll'estremità di una forte molla di acciajo R. La pressione cambiando, la parte superiore della scatola si alza o si abbassa, trasmette il suo movimento alla molla e quindi, per mezzo di due leve l, m, ad una asse metallico r: questo è unito ad una terza leva t, alla cui estremità è fissata una catenella s, la quale agisce

sopra un verricello, il di cui asse porta l' indice. Una molla spirale mantiene la catena costantemente tesa, ed assicura quindi la posizione dell' indice, che corrisponde così sempre alla forma attuale della scatola. Il barometro Vidie, ad una grande sensibilità, riunisce una ben intesa solidità nel meccanismo. Non è questa la sola, ma la prima, ed attualmente la migliore, soluzione del problema dei barometri metallici, quella che presenta in minor grado l' inconveniente capitale di questo genere d' istrumenti, cioè l' alterazione permanente della forma del vaso vuoto in causa del lavoro intimo delle molecole (1).

186. Misura delle altezze col barometro. — L'altezza del mercurio nel barometro, diminuendo a misura che si va elevandosi nell'atmosfera, è naturale di cercare in questo fenomeno un mezzo per misurare le altezze. Il problema riescirebbe affatto semplice se l'aria avesse in ogni sua parte la densità presentata alla superfice del suolo: infatti, questa densità essendo 10,500 volte circa minore di quella del mercurio, ne segue, nell' ipotesi della densità costante, che, onde l' altezza barometrica diminuisca di un centimetro, bisognerebbe elevarsi nell'atmosfera ad un' altezza 10,500 volte più grande, vale a dire a 105 metri. Questo risultato è falso, giacchè la densità dell' aria diminuisce rapidamente coll'altezza, in causa della grande compressibilità di questo fluido. Si osservi che, se l'atmosfera avesse una densità costante, se ne otterrebbe l'altezza moltiplicando $0,^{m}76$ per 10,500, ciò che da 7980 metri; secondo i dati più accettati, l'altezza dell'atmosfera è almeno 10 volte più grande.

Tenendo conto di tutte le circostanze che possono influire sulla altezza barometrica, per mezzo del calcolo si è stabilito una formula, conosciuta sotto il nome di formala Laplace, della quale l'esperienza ha verificata l'esattezza approssimata, quando l'altezza da misurarsi non sorpassi i 6000 metri.

Ecco la formula di Laplace:

$$A = 18393\ ^{m}(1 + 0,002837 \cos. 2\lambda.) \left(1 + \frac{2(t + t')}{1000}\right) \log. \frac{H}{h}$$

nella quale: A altezza da misurarsi, H pressione al basso, h pressione all'altezza

(1) Un altro barometro metallico molto in uso è quello di Bourdon. Di questo barometro l'organo esenziale è un tubo chiuso agli estremi, formato con una sottil lamina di ottone, di sezione elittica assai schiacciata, e piegato quasi ad intiera circonferenza, nel quale si è praticato il vuoto. Il tubo è fissato per la sua parte di mezzo al fondo della cassa cilindrica che lo contiene, e le sue estremità manovrano una leva a settore dentato, che imbocca in un rocchetto portante l'indice; una leggera molla spirale serve di forza antagonista. Sotto l' influenza delle variazioni della pressione atmosferica, varia la curvatura del tubo, i di cui estremi si avvicinano o si allontanano fra loro, a seconda delle circostanze; questi movimenti, assai ingranditi, sono resi manifesti dall'indice.

NOTA DEL TRADUTTORE.

A sul suolo; t e t' temperature alle stazioni inferiore e superiore; λ latitudine media del luogo (1).

187. Variazioni diurne del barometro. — Nelle nostre regioni la colonna barometrica oscilla, per così dire, in modo continuo a seconda della direzione del vento e del grado di umidità dell' atmosfera; queste variazioni irregolari hanno un'ampiezza considerevole che si eleva talvolta fino a 55 o a 60 millimetri.

Diversamente accade nelle regioni tropicali, dove l'altezza barometrica è pressochè indipendente dallo stato dell'atmosfera. In queste regioni il barometro presenta delle oscillazioni di notevole regolarità. In generale la colonna barometrica sale dalle quattro ore del mattino fin verso le dieci ore, momento in cui si verifica un primo massimo; quindi discende fin verso le quattro ore di sera, presentando a quest'ora un primo minimo; a dieci ore di sera si osserva un secondo massimo e finalmente un secondo minimo alle quattro del mattino. Le ore dei massimi e dei minimi diconsi ore tropiche, esse variano qualche poco colla stagione. Dicesi ampiezza della variazione diurna la differenza tra il massimo più elevato ed il minor minimo, essa non oltrepassa i due o tre millimetri.

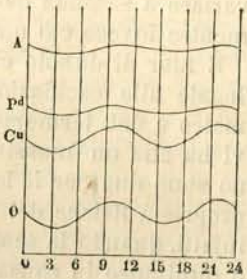


Fig. 167.

Queste variazioni orarie sono rese molto sensibili dalla fig. 167. Le linee verticali rappresentano le ventiquattro ore della giornata, su di esse si sono portate lunghezze proporzionali alle rispettive altezze barometriche e se ne son riuniti gli estremi con una linea continua. Si vede che le curve inferiori, delle quali una si riferisce a Cumana, città di Venezuela posta a dieci gradi di latitudine nord, presentano delle ondulazioni molto pronunciate in corrispondenza ai massimi e minimi. Nelle nostre regioni le variazioni diurne sono mascherate dalle variazioni irregolari, e sarebbe perciò impossibile di constatarle nel corso di una giornata; ma prendendo le medie delle pressioni di un certo numero di giorni, la legge si pone in evidenza. Un mese di osservazioni basta, ma queste devono essere in numero abbastanza grande, onde poterne dedurre con un po' di precisione l'ora dei massimi e l'ampiezza delle variazioni.

(1) Quando l'altezza da misurarsi non supera i 1000 o 1200 metri, si può utilmente far uso della formola seguente più semplice, dovuta a Babinet:

$$A = 16000^{m} \left[1 + \frac{2\,(t + t')}{1000}\right] \frac{H - h}{H + h}$$

NOTA DEL TRADUTTORE.

La stessa figura 164, i di cui elementi sono ricavati dal *trattato di meteorologia* di Kaemtz, presenta le curve costruite sulle osservazioni del barometro a Padova, (latitudine 45° e 24') e ad Abo (latitudine 60°, 56'). Dall'ispezione delle curve si scorge chiaramente come le variazioni sono tanto meno pronunciate, quanto più la latitudine è elevata, la loro ampiezza ad Abo è appena di $^2/_{10}$ di millimetro: verso il 70° di latitudine essa è affatto nulla ed avvicinandosi maggiormente ai poli, sembra, dietro alcune osservazioni, le quali avrebbero bisogno di essere confermate, ma che del resto sono plausibili, che le variazioni si producano in senso inverso; vale a dire che in luogo dei minimi si osservino i massimi e viceversa.

Vi sono pochi fenomeni in fisica, così oscuri nella loro origine quanto quelli delle variazioni orarie del barometro.

Il doppio massimo ed il doppio minimo avevano naturalmente fatto pensare ad un'azione del sole e della luna, analoga a quella che produce la maree; ma se ciò fosse, le ore tropiche dovrebbero variare a seconda dell'ora del passaggio della luna dal meridiano, mentre invece ciò non si riscontra.

È fuor di dubbio che le oscillazioni diurne del barometro sono legate alle oscillazioni della temperatura, i movimenti del barometro e del termometro trovandosi in istretta relazione, ma non vi ha che un massimo ed un minimo di temperatura mentre ve ne sono due per il barometro; ecco la difficoltà. Probabilmente le proprietà fisiche del vapore aqueo hanno influenza sul fenomeno: infatti, quando la temperatura si eleva, l'altezza barometrica tende a diminuire in causa della dilatazione dell'aria; ma d'altra parte, la forza elastica del vapor d'aqua crescendo rapidamente colla temperatura, può più o meno compensare il primo effetto. Ugualmente, nel caso del raffreddamento, la conseguente elevazione barometrica può essere diminuita dalla sopressione di una quantità più o meno notevole di vapore. Il fenomeno osservato è dunque il risultante di due altri, ciascuno dei quali può presentare un massimo ed un minimo non concordanti. Così, ad esempio, quando al mattino la pressione dell'aria diminuisce, prima ch'essa abbia assunto il minimo suo proprio, l'effetto del vapore d'acqua può dar luogo ad un accrescimento il quale modifica per un momento l'andamento del fenomeno e può quindi dar origine ad un massimo dell'effetto complesso.

188. Variazioni irregolari del barometro. — L'altezza barometrica, nelle latitudini medie almeno, dipende dallo stato dell'atmosfera, e le sue variazioni possono servire a prevedere, con maggiore o minor certezza, i cambiamenti che possono accadere in seno all'atmosfera; in generale il barometro si abbassa per la pioggia o pel cattivo tempo, sale all'opposto quando il tempo diventa secco e bello.

Devesi a questa destinazione speciale se il barometro è diventato un istrumento usuale. Allo scopo di facilitare l'interpretazione dei risultati che esso può fornire a questo soggetto, si iscrivono abitualmente, a fianco ai numeri della scala che misurano le altezze della colonna di mercurio, le seguenti indicazioni:

785 mm	Secchissimo
776 —	Bello costante
767 —	Bello
758 —	Variabile
749 —	Pioggia o vento
740 —	Pioggia dirotta
731 —	Tempesta

Queste indicazioni però non hanno nulla d'assoluto e non possono affatto presentare un carattere individuale di certezza; il loro senso generale è però conforme all'osservazione, ciò risulta nettamente dalla comparazione delle pressioni osservate durante un certo numero di anni. Così a Parigi (e dovunque si potrebbero dedurre analoghe conseguenze) il valore medio delle pressioni osservate durante un mezzo secolo è di 755,7^{mm}; la media delle pressioni osservate nei giorni di pioggia è di 749,8^{mm} e la media delle pressioni osservate nei giorni di bel tempo è di 760,5^{mm}. Da ciò si deduce incontestabilmente che la pressione è in media minore pei giorni di pioggia che pel bel tempo; dopo ciò è naturale di prevedere il bel tempo quando l'altezza barometrica cresce, e la pioggia quando diminuisce; ma si capisce come questa previsione possa essere in difetto, giacchè i numeri precedenti sono medie e risultano quindi dalla combinazione di elementi dei quali qualcuno può avere un senso differente da quello del risultato generale.

189. Andamento inverso del barometro e del termometro. — Non si potrebbe dare una teoria generale del rapporto esistente tra le indicazioni del barometro e lo stato dell'atmosfera, giacchè non lo si osserva dovunque, almeno approssimativamente, allo stesso grado. Ciononostante se ne può dare una spiegazione che si attaglia ad un numero abbastanza grande di casi.

Infatti, i venti caldi, specialmente se sono passati sopra masse d'aqua di estensione un po' considerevole, devono essere spesso accompagnati da pioggie, giacchè contengono del vapor d'aqua, il quale, provando un abbassamento di temperatura, tende per conseguenza a condensarsi.

I venti freddi all'opposto contengono del vapore il quale, arrivando in regioni di più elevata temperatura, si allontana maggiormente dal suo punto di saturazione: devono dunque essere molto secchi, almeno quando spirano da qualche tempo (giacchè, diversamente, il loro primo risultato potrebbe essere quello di condensare

il vapore preesistente e dar luogo a nubi od anche alla pioggia). Queste particolarità sono sopratutto marcate nel nostro paese, dove i venti caldi del Sud e del Sud-Ovest passano al disopra dell'Atlantico, mentre i venti freddi del Nord-Est non incontrano grandi masse d'acque nel loro cammino.

D' altronde l' andamento del barometro è in generale inverso di quello del termometro; *quando il termometro sale, il barometro si abbassa, e viceversa.* Questa legge è una delle più generali della meteorologia e si spiega facilmente; infatti, quando la temperatura si eleva ne risulta una dilatazione dell' aria e quindi un afflusso di questo fluido nelle regioni vicine; la pressione deve dunque diminuire: al contrario, un raffreddamento determina una chiamata di aria, ciò che provoca di conseguenza un accrescimento di pressione.

190. Carte sinottiche dell'osservatorio. — Dappoichè la rete telegrafica si è estesa alla superfice dell' Europa, si è potuto organizzare un servizio di corrispondenza che permette di conoscere, ad un momento voluto, la pressione barometrica di un certo numero di località, scelte come stazioni meteorologiche.

Se su di una carta geografica si riuniscono i luoghi a cui corrisponde una stessa pressione, si ottengono delle curve le quali mostrano a colpo d'occhio lo stato barometrico di una estensione notevole della superficie terrestre. Indipendentemente dalle curve di eguale pressione, queste carte fanno conoscere, col mezzo di notazioni convenzionali, lo stato generale del tempo, la forza del vento e lo stato del mare. Le curve di eguale pressione corrispondono a differenze di 5 millimetri; ne risulta che, a seconda che quelle sono più o meno serrate, indicano una variazione più o meno sentita di pressione e forniscono così a prima vista un'indicazione preziosa sullo stato d'equilibrio dell'atmosfera; giacchè è chiaro che le probabilità di perturbazioni sono tanto maggiori quanto più le variazioni di pressione sono rapide.

Lo studio di queste carte mostra come qualche volta le curve di egual pressione si chiudono in modo da indicare un centro di depressione baromentica. Una tal circostanza è sempre accompagnata da gravi sconcerti nell'atmosfera: infatti l'aria affluisce dall'intorno nel luogo dove la pressione è minima, con velocità e direzioni diverse; ne risulta un movimento vorticoso il quale, in causa della forza centrifuga, accresce notevolmente la depressione e questa diventa così e causa ed effetto del fenomeno.

A queste meteore si danno differenti nomi: alle Antille, nelle regioni intertropicali, esse presentano una grandissima intensità e danno luogo a spaventevoli disastri; sono denominati cicloni, tifoni, tornados, uragani. In proporzioni minori si chiamano *burrasche*, tur-

bini, ecc.; ma, qualunque ne sia il nome, è bene di osservare che esse dipendono sempre da un fenomeno della stessa natura, il quale costituisce ciò che può dirsi l'essenza della tempesta. Il più delle volte, generatesi nell'Atlantico, le burrasche si trasportano sensibilmente verso il Nord nel nostro emisfero, con movimenti d'inflessione verso l'Est: a misura ch'esse progrediscono, la loro base si allarga, e, a meno di circostanze speciali, la loro intensità va diminuendo. La velocità di traslazione di queste meteore è qualche volta relativamente piccola, inferiore a 15 chilometri all'ora; non è mai però superiore ai 40 chilometri.

Col mezzo delle carte sinottiche è dunque possibile di seguire lo andamento del fenomeno da un giorno all'altro, e di calcolare approssimativamente l'epoca alla quale la tempesta raggiungerà una data costa. Un servizio d'avviso ai porti è organizzato all'Osservatorio di Parigi, e già in diverse occasioni si è potuto, con precauzioni prese in tempo utile, prevenire dei disastri considerevoli (1).

CAPITOLO X.

LEGGE DI MARIOTTE.

191. Legge di Mariotte. — I gas essendo costituiti di molecole in istato continuo di ripulsione, possono essere considerati, in certo qual modo, come molle costantemente tese, esercitanti continuamente sforzo per distendersi. Il grado di pressione che questi corpi esercitano contro le pareti dei vasi che li contengono, deve dunque, a parità di massa, dipendere dal volume da essi occupato e crescere di più in più a misura che queste volume diminuisce.

Da esperienze numerose e precise, Mariottte ha dedotto *che queste pressioni variano in ragione inversa dei volumi*, purchè però la temperatura rimanga costante. Siccome la densità, a pari massa, varia in ragione inversa del volume, si può anche dire che, alla stessa temperatura, la pressione varia proporzionalmente alle densità.

Posti V e V' i volumi di una stessa massa di gas, P e P', D e D' le pressioni e le densità corrispondenti, la legge di Mariotte è espressa dalle relazioni:

(1) I lettori che desiderassero qualche dettaglio intorno a questa parte originale della meteorologia, possono ricorrere all'importante opera: *Les mouvements de l'Atmosphère*, di Marié-Davy, capo della divisione di meteorologia all'osservatorio di Parigi.

$$\frac{P}{P'} = \frac{V'}{V} \quad ; \quad \frac{P}{P'} = \frac{D'}{D}$$

Tubo di Mariotte. — L'esattezza di questa legge si può verificare per mezzo dell'apparecchio seguente, usato da Mariotte stesso. L'apparecchio si compone (fig. 168) di un tubo di vetro curvato a rami disuguali, il più lungo dei quali è aperto, l'altro chiuso alla sua estremità; il tubo è fissato contro una tavoletta, sulla quale è segnata una doppia graduazione; quella allato del ramo lungo è formata di parti di uguale lunghezza, l'altra, corrispondente al piccolo ramo, è formata di parti indicanti uguale capacità nel tubo: le due scale hanno una stessa origine in 0,0. Si versa dapprima del mercurio nel tubo pel ramo più lungo; inclinando l'apparecchio in un senso o nell'altro, aggiungendo, se abbisogna, una nuova quantità di mercurio, si arriva per tentativi a ridurre il liquido allo stesso livello nei due rami ed in corrispondenza allo 0 delle scale. Si ha così nel piccolo ramo una massa d'aria separata dall'aria esterna ed alla stessa pressione di questa: si versa allora del mercurio nel ramo lungo fino a ridurre il volume dell'aria rinchiusa alla sua metà: in tale stato di cose si riconosce che la differenza di livello del mercurio nei due rami è uguale all'altezza barometrica al momento dell'esperienza; l'aria compressa fa dunque equilibrio ad una pressione di due atmosfere. Se si versa nuovo mercurio in modo da ridurre il volume dell'aria al terzo o al quarto del volume primitivo, si osserva che la differenza di livello corrisponde a due, tre volte l'altezza barometrica, vale a dire che l'aria fa equilibrio ad una pressione di tre, quattro atmosfere.

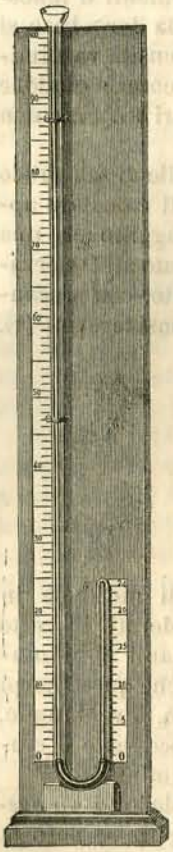


Fig. 168.

Da questa esperienza si deduce dunque che, se il volume del gas diventa due, tre, quattro volte più piccolo, la pressione diventa due, tre, quattro volte più grande: è questa appunto la legge di Mariotte.

Si può pure verificare la legge di Mariotte anche nel caso in cui il gas si espanda e, per conseguenza, la sua pressione diminuisca. A tale scopo si capovolge, in un pozzetto contenente del mercurio, un tubo barometrico (fig. 169) incompletamente riempito del liquido stesso e si trova una posizione tale che il livello del liquido sia lo stesso all'esterno ed all'interno del tubo; ciò vuol dire che l'aria

in questo contenuto ha una pressione eguale all'aria esterna. Si nota il volume occupato dal gas e si solleva il tubo; l'aria si dilata, la sua pressione diminuisce ed, in causa dell'eccesso della pressione atmosferica sulla pressione interna, si eleva nel tubo una colonna *a b* di mercurio, tale che la sua altezza, aggiunta alla pressione dell'aria dilatata, corrisponda alla pressione atmosferica. Si osserva allora che, se il volume dell'aria diventa doppio del volume iniziale, la colonna sollevata ha un'altezza uguale alla metà dell'altezza barometrica; vale a dire che l'aria dilatata si trova alla pressione di una mezza atmosfera; se il volume diventa triplo, l'altezza della colonna è $^2/_3$ di quella del barometro, vale a dire che l'aria dilatata ha una pressione di $^1/_3$ d'atmosfera; risultato questo conforme alla legge di Mariotte.

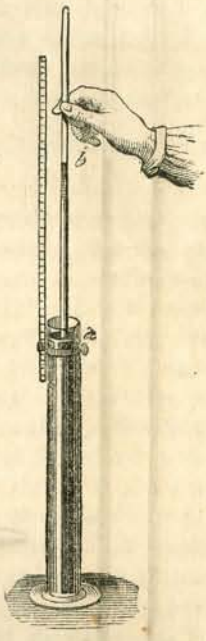


Fig. 169.

192. La semplicità della legge Mariotte non ha per poco contribuito a farla adottare dai fisici i quali, per molto tempo, l'hanno considerata come il fondamento indiscutibile della meccanica dei gas. Ciononostante, a diverse epoche, vennero sollevati dubbi e sulla sua generalità e sulla sua esattezza rigorosa. Desprets, verso il 1825, ha pubblicato un lavoro importante nel quale stabilisce che i diversi gas non subiscono la stessa legge di compressione, e prova sperimentalmente che volumi uguali di due gas, quali l'aria e l'acido solfidrico o l'ammoniaca, per esempio, sottoposti ad una forte pressione assumono volumi differenti; l'aria si trova essere sensibilmente meno compressibile degli altri due gas. Si sapeva d'altronde che la legge di Mariotte cessa di verificarsi al momento della liquefazione, la quale si produce, per la maggior parte dei gas, quando vengano abbastanza fortemente compressi; infatti, a partire da questo momento, la pressione rimane costante. Ciononostante la legge di Mariotte sembrava talmente conforme al concetto che si si era fatto *a priori* dei corpi gasosi, che la confidenza dei fisici in essa non ne fu per nulla scossa. Così quando nel 1829 Dulong ed Arago intrapresero un considerevole lavoro per sottoporla a nuove verificazioni, essi lo fecero colla persuasione che non avrebbero trovato la legge di Mariotte in difetto: fu appunto questo il risultato delle loro esperienze, nelle quali l'aria atmosferica venne compressa fino all'enorme pressione di 27 atmosfere. La questione pareva dunque decisa, almeno per l'aria.

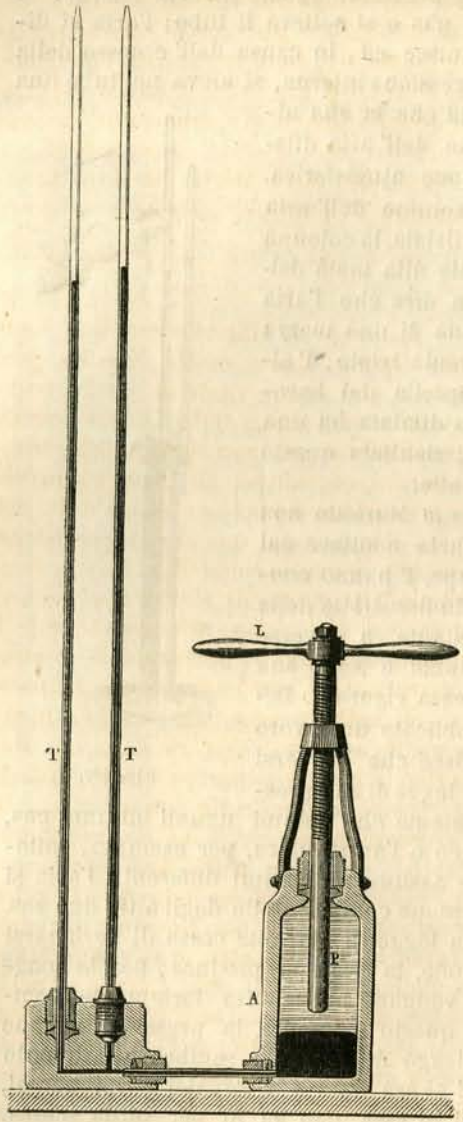


Fig. 170.

193. Differente compressibilità dei diversi gas. — Tuttavia è facile di mostrare, con una esperienza analoga a quella di Desprets, che i diversi gas non sono compressibili allo stesso grado. Si fa perciò uso dell'apparecchio seguente (fig. 170), usato da Pouillet nelle sue ricerche sul soggetto di cui si tratta. L'apparecchio si compone di una scatola in ghisa *A* contenente del mercurio ed al disopra di questo dell'olio: in questo liquido è introdotto uno stantuffo ad immersione *P* in bronzo, la di cui parte superiore, lavorata a vite, passa attraverso ad una chiocciola, e può essere messa in movimento per mezzo di una leva *L*. La scatola *A* comunica per mezzo di un tubo di ferro con una seconda scatola in ghisa, sulla quale sono solidamente fissati due tubi *T* di 2 metri circa di lunghezza, di 2 a 3 millimetri di diametro, scrupolosamente calibrati. Dalla parte superiore di questi tubi s' introducono in essi dei gas perfettamente disseccati ed in tale quantità che occupino lo stesso volume, quindi si chiudono al cannello le estremità dei tubi. Si fa scendere lo stantuffo così da esercitare una pressione di più in più grande; si legge il volume occupato dai due gas e si

riconosce facilmente come non ve ne siano due che seguano la stessa legge di compressibilità. La differenza è però assai poco sensibile quando si opera sui gas non liquefacibili, quali sono l'aria, l'ossigeno, l'azoto, l'idrogeno, il biossido di azoto, il gas delle paludi o gas idrogeno protocarbonato (1). Ma quando invece si compari uno dei gas nominati con un gas liquefacibile, come l'acido carbonico, il cianogeno, l'ammoniaca, il disaccordo si manifesta presto e nettamente. Così, sotto la pressione di 25 atmosfere, l'acido carbonico occupa i $\frac{4}{5}$ del volume occupati dall'aria in identiche condizioni.

194. Esperienze di Regnault. — La legge di Mariotte non può dunque essere considerata come rigorosamente esatta, risulta però che essa è assai approssimata e può essere usata in pratica senza alcun inconveniente, specialmente se si tratta dell'aria. Per constatare in questo gas, ed in generale nei gas non liquefacibili, l'inesattezza della legge, per misurare, sopratutto, gli elementi necessari a far conoscere la compressibilità particolare di un dato gas, bisogna far ricorso a processi di misura di una grande precisione. Nelle diverse esperienze eseguite a questo soggetto e che son sempre fondate sullo stesso principio di quello di Mariotte, si ha una massa limitata di gas della quale si diminuisce successivamente il volume per mezzo di un graduato aumento di pressione. Si capisce come in questo modo di esperimentare, mano mano che la pressione aumenta, le variazioni di volume diventano sempre meno sensibili e di conseguenza meno precise. Nelle ricerche che Regnault ha eseguito in proposito a questo punto fondamentale della meccanica dei gas, si opera costantemente sullo stesso volume, il quale, preso inizialmente a pressioni diverse, vien costantemente ridotto a metà; si osserva la pressione nelle due circostanze e, se la legge di Mariotte si verificasse, nel secondo caso la pressione dovrebbe essere sempre doppia che nel primo: in questo modo l'esattezza della misura rimane la stessa, qualunque sia la pressione. Dalle esperienze di Regnault sull'aria, l'azoto e l'acido carbonico risulta che questi tre gas sono compressibili più di quanto lo vorrebbe la legge di Mariotte. Al contrario per l'idogeno, il solo gas che si comporti in questo modo, l'effettiva compressibilità è minore di quella calcolata colla legge di Mariotte.

Esperienze, sul dettaglio delle quali sarebbe inopportuno l'entrare, conducono i fisici ad ammettere che i gas i quali, come l'aria, l'azoto e l'acido carbonico, alla temperatura ordinaria sono più compressibili di quanto lo porterebbe la legge di Mariotte, diven-

(1) Alcuni di questi gas vennero recentemente liquefatti.

tano di meno in meno compressibili coll'elevarsi della loro temperatura. Ad una certa temperatura, speciale per ciascuno, questi gas seguirebbero la legge di Mariotte, a temperatura ancora superiore, si comporterebbero come l'idrogeno alla temperatura ordinaria, vale a dire cioè, che l'effettiva compressibilità riescirebbe minore di quella calcolata.

L'opposto avrebbe luogo per l'idrogeno: diminuendone la temperatura lo si vedrebbe approssimarsi alla legge di Mariotte, che seguirebbe poi rigorosamente ad una certa temperatura, per allontanarsene di nuovo, ma con maggiore compressibilità, se si continuasse ad abbassare la temperatura.

In conclusione, la legge di Mariotte deve riguardarsi come una legge *limite*, non seguita rigorosamente da nessun gas preso nelle condizioni ordinarie. Ciononpertanto le differenze fra le compressibilità effettive e quelle calcolate sono abbastanza piccole perchè, nella maggior parte dei casi, si possa applicare la legge di Mariotte, specialmente se i gas si trovano ad una temperatura e ad una pressione abbastanza lontane da quelle corrispondenti alla liquefazione.

195. Manometri. — I manometri sono istrumenti destinati alla misura della forza elastica di un gas contenuto in uno spazio chiuso. La forza elastica si esprime ordinariamente per mezzo dell'unità detta *atmosfera* (179) e si misura spesso coll'altezza della colonna di mercurio che la equilibra.

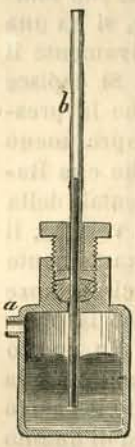


Fig. 171.

Quando la colonna di mercurio si muove liberamente in un tubo aperto, il manometro si dice ad aria libera; è un manometro di questa specie che ha servito nelle esperienze di Regnault per misurare le pressioni.

Nell'industria, quando si debbano misurare pressioni non troppo ragguardevoli, si fa qualche volta uso del manometro ad aria libera, del quale la figura 171 rappresenta una delle disposizioni più semplici. L'apparecchio è formato da una scatola, generalmente di ferro, munita alla parte superiore di un'apertura chiusa da un tappo a vite; attraverso al tappo passa un tubo *b* aperto ai suoi capi ed immerso inferiormente nel mercurio contenuto nella scatola; l'aria od il vapore di cui si vuol misurare la forza elastica entrano dal tubo *a* nella scatola, ed agiscono sul mercurio.

È chiaro che, se il livello del mercurio fosse lo stesso nel tubo e nella vaschetta, la pressione del gas sarebbe uguale alla pressione atmosferica; se il mercurio nel tubo si alza di una certa

quantità al disopra del liquido nella vaschetta, la pressione del gas superà la pressione atmosferica della pressione misurata dall' altezza della colonna sollevata. Generalmente queste pressioni effettive sono inscritte in atmosfere su di una scala allato del tubo.

196. Manometro ad aria compressa. — Questo istrumento, a cui possonsi dare disposizioni diverse, è qualche volta formato, come lo mostra la figura 172, di un tubo ricurvo a due rami paralleli *A*, *B*, chiuso ad una delle due estremità, e contenente in *A* dell'aria, separata dall'aria esterna da una colonna di mercurio: l'apparecchio è regolato in modo che, allorquando la pressione in *B* è eguale a quella dell'atmosfera, il mercurio si eleva allo stesso livello *m n* nei due rami del tubo; dimodochè, in questo caso, l'aria rinchiusa è precisamente alla pressione atmosferica. Se la pressione aumenta, il mercurio è ricacciato nel ramo di sinistra, l'aria che questo contiene si comprime ed acquista perciò tensioni gradualmente maggiori, finchè siasi stabilito l' equilibrio. La pressione del gas che agisce in *B* è allora uguale alla pressione dell' aria compressa, aumentata di quella che è misurata dalla differenza di livello del mercurio ne' due rami. Questa pressione è inscritta in atmosfere sulla scala graduata *a b*.

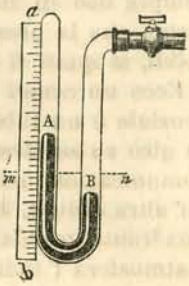


Fig. 172.

Questa scala si gradua, nelle officine, ponendo il manometro in comunicazione con un serbatojo d'aria compressa, la di cui pressione è misurata, sia per mezzo di un manometro ad aria libera, sia con un *manometro campione* di specie qualunque.

Come si è già fatto osservare, mano mano che la pressione aumenta, l'istrumento diventa meno sensibile e la corsa del mercurio corrispondente alla variazione di un' atmosfera, diventa di più in più piccola. Si diminuisce questo inconveniente colla disposizione mostrata dalla fig. 173. Il ramo che contiene l'aria lo si fa conico; in questo modo, mano mano che il mercurio sale, uguali variazioni di volume corrispondono a lunghezze sempre maggiori. L' effetto di questa disposizione è reso manifesto dalla figura; si vede infatti che le cifre corrispondenti alle successive atmosfere di pressione, sono pressochè equidistanti, mentre che, se il tubo fosse cilindrico, esse andrebbero rapidamente avvicinandosi.

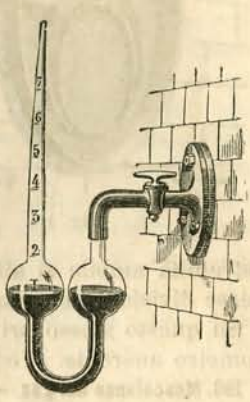


Fig. 173.

197. Manometri metallici. — La fragilità dei tubi di vetro, ed il loro appannarsi in causa del mercurio che, a lungo andare, si ossida, costituiscono un gravissimo inconveniente, specialmente per le macchine in movimento. Gli è perciò che in questi casi si fa quasi sempre uso di manometri metallici, fondati sul cambiamento di forma che la pressione del gas o del vapore può indurre in sistemi solidi, ai quali si danno disposizioni assai diverse.

Ecco un cenno del manometro Bourdon (fig. 174): l'organo essenziale è un tubo di rame a sezione elittica, ripiegato due volte in giro su sè stesso; una delle sue estremità si può mettere in comunicazione col serbatoio di pressione per mezzo di un robinetto, all'altra, chiusa, è fissato un indice d'acciajo che scorre su di un quadrante graduato. Quando il robinetto è in comunicazione coll'atmosfera l'indice segna 1; ma se la pressione aumenta, la curvatura del tubo diminuisce, la sua

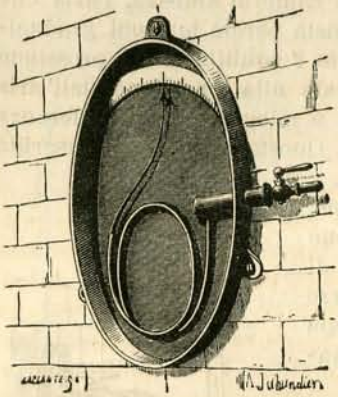


Fig. 174.

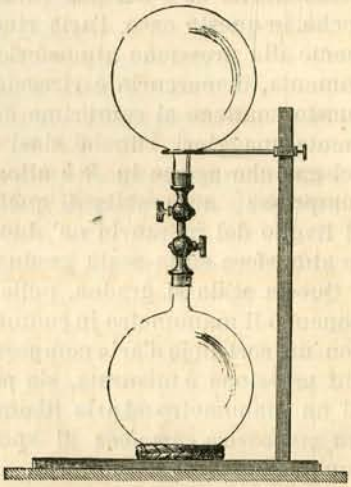


Fig. 175.

estremità mobile si allontana dalla fissa e l'indice percorre le diverse divisioni del quadrante.

Su questo stesso principio Bourdon ha costrutto anche un barometro aneroide. (Vedi nota a pag. 160).

198. Mescolanze dei gas. — Se diversi gas di differente densità vengono introdotti in uno stesso vaso, non si sovrappongono, come lo fanno i liquidi, nell'ordine delle loro densità; l'esperienza dimostra come, anche nel caso il più sfavorevole, i gas si mescolano intimamente, di modo che si può ritenere che ciascun gas in particolare, riempie lo spazio totale. Questo fatto è stato dimostrato da Berthollet con un'esperienza decisiva. Egli fece uso di due palloni (fig. 175) avvitati l'uno sull'altro; il pallone inferiore era pieno di acido car-

bonico, il superiore di idrogeno. Furono collocati in un sotterraneo e posti in comunicazione fra loro; dopo un certo tempo si constatò che i due gas si erano mescolati intimamente, infatti in ciascuno dei palloni la proporzione di acido carbonico e di idrogeno era la stessa. La costanza nella composizione dell'aria a qualunque altezza è una prova evidente del fatto di cui si parla.

Da ciò risulta che se diversi gas vengono chiusi nel medesimo spazio, ciascuno di essi esercita una pressione dipendente capacità totale loro offerta; di conseguenza la pressione totale del miscuglio è uguale alla somma delle pressioni esercitate individualmente da ciascun gas.

Sieno V e P, V' e P', V'' e P'' ecc. i volumi e le pressioni dei gas che si fanno entrare in un vaso di volume U. Il primo gas vi assume una pressione $\frac{VP}{U}$, il secondo la pressione $\frac{V'P'}{U}$ ed il terzo la pressione $\frac{V''P''}{U}$ e così di seguito: la pressione totale M è dunque:

$$M = \frac{VP}{U} + \frac{V'P'}{U} + \frac{V''P''}{U} + \text{ecc.},$$

da cui si deduce:

$$MU = VP + V'P' + V''P'' + \text{ecc.}$$

Questa formola riassume la legge sulle mescolanze dei gas: la quale si può facilmente verificare sul bagno a mercurio, facendo entrare in una campanella graduata diversi volumi di gas, dei quali si sieno misurati il volume e la pressione iniziali.

199. Dissoluzione dei gas nell'aqua. — L'aqua possiede la proprietà di disciogliere, in diverso grado, tutti i gas conosciuti. Questa proprietà ha nella natura una grande importanza: la respirazione degli animali aquatici è resa possibile in causa dell'aria, e quindi dell'ossigeno, che l'aqua contiene disciolta: la presenza dell'aria non è meno necessaria nell'aqua che entra nell'alimentazione degli animali; l'esperienza ha provato che l'uso prolungato di aqua privata d'aria, ingenera dei disordini più o meno gravi nell'organismo. La facoltà dissolvente pei gas non è particolare all'aqua, però questo è il liquido che la manifesta in modo più generale.

Il meccanismo della dissoluzione di un gas nell'aqua è affatto analogo a quello della sua espansione in uno spazio maggiore del suo volume. Se, per esempio, si imagina un certo spazio occupato da un litro di acido carbonico, messo in comunicazione con uno spazio vuoto di uguale capacità, è chiaro che il gas si ripartirà ugualmente fra i due spazi. Se invece di uno spazio vuoto si offre all'acido carbonico uno spazio pieno d'aqua, il risultato è perfettamente lo stesso e, ad equilibrio stabilito, si avrà in dissoluzione nell'aqua una quantità di gas uguale a quella che si trova all'esterno del liquido; il gas disciolto avrà dunque, in questo caso particolare, la stessa densità

del gas esterno. Lo stesso però non accade in tutti i casi; a seconda che l'attrazione tra le molecole dell'aqua e quelle del gas è più o meno sentita, si stabilisce un rapporto più o meno grande fra la densità del gas disciolto e quella del gas esterno. Questo rapporto è, per esempio, di 0,04 circa per l'ossigeno, mentre per l'ammoniaca è 1050. Questo rapporto si conserva costante qualunque sia la pressione e riceve il nome di *coefficiente di solubilità.*

Da quanto è detto, si capisce che il coefficiente di solubilità dell'acido carbonico è 1. Il coefficiente di solubilità, del resto, diminuisce rapidamente col crescere della temperatura; a 100° l'acqua ha perduto la totalità dei gas che teneva disciolti: si approfitta appunto di questa proprietà per raccogliere questi gas ed analizzarli.

Invece di dire che il rapporto tra la densità del gas disciolto e quella del gas esterno è, per esempio, $^1/_5$, si può dire che l'acqua tiene in dissoluzione $^1/_5$ del suo volume del gas considerato: è spesso in questo senso che si definisce il coefficiente di solubilità. D'altra parte, siccome questo coefficiente è indipendente dalla pressione, se ne deve dedurre che la quantità effettiva di gas che si discioglie nell'acqua è proporzionale alla pressione. È su questa osservazione che è fondata la fabbricazione delle aque gasose artificiali.

CAPITOLO XI.

MACCHINA PNEUMATICA. — MACCHINA DI COMPRESSIONE.

200. Macchina pneumatica. — La macchina pneumatica venne ideata da Otto di Guericke verso il 1650; in seguito, essa ha subìto diversi perfezionamenti di dettaglio i quali però non ne cambiarono le disposizioni esenziali.

Questa macchina si compone di un corpo di pompa, in vetro od in metallo, nel quale si muove uno stantuffo (fig. 176). Questo stantuffo è attraversato da un canale, chiuso inferiormente da una valvola *S*, aprentesi dal basso all'alto. Il corpo di pompa è munito di un condotto aprentesi al centro di un disco di vetro polito colla massima cura, detto *piatto.* L'estremità del condotto, dove sbocca nel corpo di pompa, è chiuso da un tappo conico *S'*, fissato all'estremo di un'asticina metallica che attraversa a sfregamento duro lo stantuffo, cosicchè il tappo si alza o si abbassa insieme allo stantuffo. L'asticina è munita di una sporgenza alla sua parte

superiore, destinata a limitare la corsa del tappo, così da non permettergli di sollevarsi che di una piccola quantità al disopra dell'apertura che esso deve periodicamente chiudere.

Ciò posto se, trovandosi lo stantuffo al basso della sua corsa, lo si fa salire, la valvola S' si solleva e l'aria del recipiente E si espande nel corpo di pompa. Abbassando lo stantuffo, la valvola S' chiude la corrispondente apertura, e l'aria che era entrata nel corpo di pompa non può ritornare nel recipiente; essa si comprime e riesce a sollevare la valvola dello stantuffo e sfuggire all'esterno.

Risollevando lo stantuffo, una porzione dell'aria rimasta nel recipiente passa nel corpo di pompa, per sfuggire poi nell'atmosfera, quando lo stantuffo si riabassa, e così di seguito.

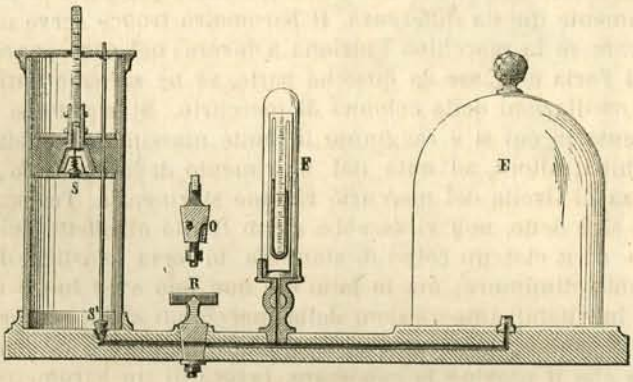


Fig. 176.

Come si vede, a ciascun colpo di stantuffo si leverà una parte dell'aria del recipiente. Siccome però l'aria levata ciascuna volta non è che una frazione della rimasta, non è possibile di fare il vuoto assoluto: teoricamente però sarebbe possibile di avvicinarsene quanto si voglia.

È facile, colla legge di Mariotte, di calcolare la forza elastica dell'aria che rimane nel recipiente dopo un certo numero di colpi di stantuffo. Siano V il volume del corpo di pompa, V' quello del recipiente e P la pressione dell'aria al principio. Quando siasi sollevato lo stantuffo, l'aria che occupava il volume V', si espande ad occupare il volume $V'+V$; la sua pressione sarà dunque $P\frac{V'}{V'+V}$; al secondo colpo di stantuffo questa presssione diventerà $P\left(\frac{V'}{V'+V}\right)^2$, e dopo n colpi $P\left(\frac{V'}{V'+V}\right)^n$: se π è la pressione richiesta, si avrà: $\pi = P\left(\frac{V'}{V'+V}\right)^n$.

Dall'ispezione di questa formola si vede che la pressione π va indefinita-

mente decrescendo e quindi, teoricamente, la forza elastica potrebbe ridursi più piccola di qualunque quantità data.

201. Provino. — Onde seguire le fasi dell'operazione e conoscere in qualunque momento la forza elastica dell'aria nel recipiente, si fa uso di un barometro troncato, chiuso in una campanella *F*, detto provino, che si può porre in comunicazione col recipiente per mezzo di un robinetto. Questo barometro è formato da un tubo ripiegato a rami paralleli della lunghezza di 28 a 30 centimetri: uno dei rami è chiuso all'estremità e pieno di mercurio, l'altro aperto. Quando la pressione dell'aria nel recipiente si abbassa al disotto di quella misurata dalla colonna di mercurio contenuta nel ramo chiuso del provino, il mercurio scende e la forza elastica è, in ciascun momento, data dalla differenza di livello del mercurio nei due rami; una scala graduata permette di misurare esattamente questa differenza. Il barometro tronco serve altresì a mostrare se la macchina funziona a dovere; nel caso, per esempio, in cui l'aria entrasse da qualche parte, se ne sarebbe fatti accorti dalle oscillazioni della colonna di mercurio. Si riconosce pure il momento in cui si è raggiunto il limite massimo di effetto della macchina; allora, ad onta del movimento dello stantuffo, la differenza di livello del mercurio rimane stazionaria. Teoricamente, come si è detto, non vi sarebbe alcun limite all'effetto della macchina ed a ciascun colpo di stantuffo la forza elastica dell'aria dovrebbe diminuire; ma in fatto ciò non può aver luogo in causa delle inevitabili imperfezioni della macchina: si ha sempre un limite d'azione, tanto più spinto quanto migliore è la macchina, limite che il provino fa conoscere. Invece di un barometro tronco si potrebbe porre in comunicazione col recipiente un barometro ordinario e seguire così il progresso della rarefazione fin dai primi colpi di stantuffo.

202. Robinetto di accesso dell'aria. — Per levare il recipiente dal piatto quando sotto quello si sia fatto il vuoto, sarebbe necessario uno sforzo considerevole, corrispondente a tante volte 103 chilogrammi quanti decimetri quadrati misura la sezione della bocca del recipiente: l'operazione riescirebbe dunque impossibile nella generalità dei casi. La si rende possibile lasciando rientrare l'aria per mezzo del robinetto *R*, la di cui chiave è separatamente rappresentata al disopra della figura. Questa chiave è forata da parte a parte da un condotto che, nello stato di azione della macchina, è posto secondo l'asse del condotto di comunicazione del corpo di pompa col recipiente: a 90° dell'apertura di quel primo condotto, nel robinetto se ne apre un'altro *O* ricurvo e comunicante all'esterno. Volendo far rientrare l'aria nel recipiente si fa girare il robinetto in modo che l'apertura *O* sia diretta dalla parte del re-

cipiente stesso; se la si pone invece dalla parte del corpo di pompa si intercetta qualunque comunicazione fra questo ed il recipiente; le cause di entrata d'aria riescono così minori ed il vuoto può conservarsi più a lungo. Si prende questa precauzione quando si voglia lasciare per molto tempo un corpo nel vuoto; in questo caso si fa anche spesso uso di piatti distinti ed indipendenti, così da lasciar disponibile la macchina.

203. Macchina a doppio effetto. — La macchina ora descritta è ad un sol corpo di pompa; tali macchine diconsi a semplice effetto ed il loro stantuffo è ordinariamente manovrato a mezzo di una leva simile a quella che si usa nelle pompe. Con tale disposizione lo stantuffo, dopo di avere eseguito il suo movimento ascensionale, ridiscende per espellere l'aria dal corpo di pompa, e non è se non dopo questo doppio movimento che l'operazione può ricominciare.

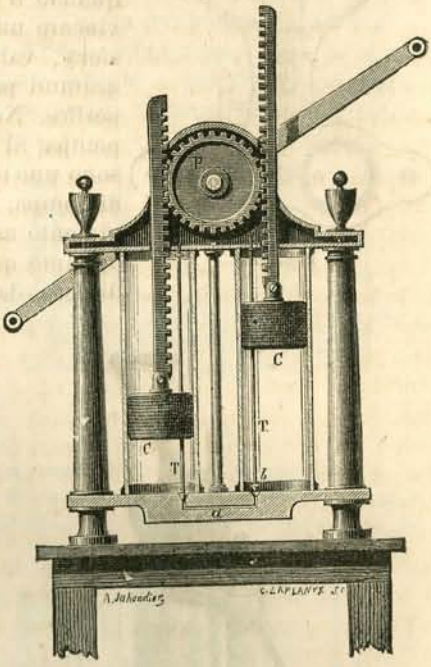


Fig. 177.

La maggior parte delle macchine che si vedono nei gabinetti di fisica sono a due corpi di pompa; le figure 177, 178 e 179 danno idea della disposizione ordinaria di questi apparecchi. La figura 179 è una vista prospettica della macchina, la figura 177 una sezione passante per l'asse dei corpi di pompa e la figura 178 finalmente rappresenta il modo con cui sono stabilite le comunicazioni tra i corpi di pompa ed i recipienti. Come vedesi, i condotti dei corpi di pompa vanno a terminare ad un unico canale che finisce al centro del piatto *p*.

Le aste degli stantuffi *C* sono formate da due dentiere ingrananti col rocchetto *P*; l'asse di questo è posto in movimento da una leva che si fa alternativamente girare in un senso e nell'altro. Con queste disposizioni, quando uno stantuffo sale, l'altro discende; ad ogni movimento quindi, l'aria del recipiente passa nell' uno o nell'altro dei corpi di pompa. Per tal modo, in queste macchine, dette perciò a doppio effetto, il vuoto si fa con velocità doppia che

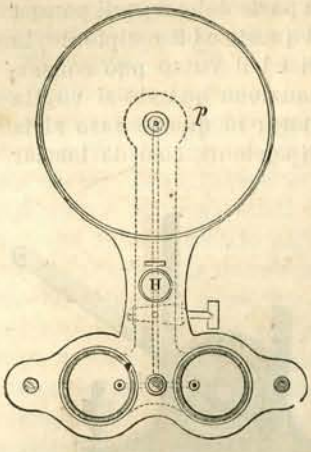


Fig. 178.

non nelle macchine ad un sol corpo di pompa. Le macchine a doppio effetto presentano anche un'altro vantaggio rispetto a quelle a semplice effetto; in quest'ultime la forza necessaria a sollevare lo stantuffo, cresce mano mano che l'aria si va rarefacendo nel recipiente; quando il vuoto è quasi completo si deve vincere una pressione di circa un'atmosfera, vale a dire, di circa 103 chilogrammi per decimetro quadrato di superfice. Nella macchina a due corpi di pompa, al momento in cui gli stantuffi sono uno in basso l'altro all'alto dei corpi di pompa, la forza che si oppone al movimento ascensionale dell'uno, uguaglia appunto quella che favorisce il moto di discesa dell' altro. Si osservi però che

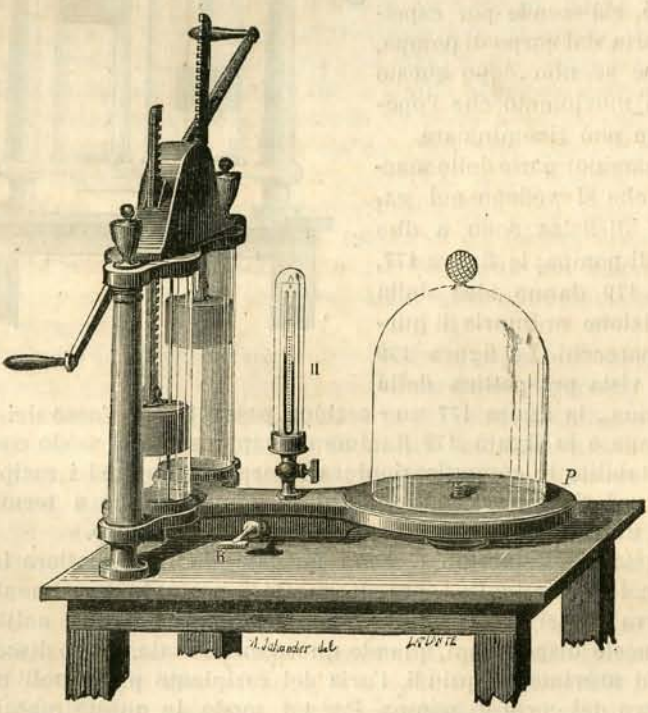


Fig 179.

questa uguaglianza non ha luogo che al principio del moto, giacchè, a misura che uno degli stantuffi discende, l'aria si comprime al disotto di lui, e la tensione va crescendo fino a raggiungere la pressione atmosferica, momento in cui si apre la valvola dello stantuffo.

In questo momento la resistenza provata dall'altro stantuffo non è più compensata affatto e, prima ancora, venne diminuita di una forza gradualmente decrescente. Più si va avvicinandosi al vuoto, più la tensione dell'aria va crescendo lentamente sotto lo stantuffo discendente, dimodochè, oppostamente a quanto succede nelle macchine a semplice effetto, la manovra diventa tanto più facile quanto più spinta è la rarefazione.

Onde poter spingere maggiormente la rarefazione, si applica spesso alle macchine ora descritte una disposizione dovuta a Babinet, la quale ha per iscopo di rarefare l'aria negli spazi nocivi (1). A tal uopo, quando la macchina, colle disposizioni ordinarie, cessa di agire, si toglie la comunicazione di uno dei corpi di pompa col recipiente, impiegandolo in quella vece a far il vuoto nell'altro corpo di pompa.

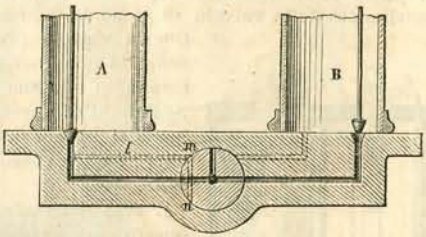


Fig. 180.

Serve all'uopo un robinetto posto al luogo di giunzione dei due canali di comunicazione dei corpi di pompa col recipiente, il qual robinetto è attraversato da un canale in forma di T così fatto che il luogo di intersezione dei due rami del T è sempre in comunicazione col recipiente. In un altro piano, differente da quello che contiene il condotto a T, si trova un condotto *m n* che, per mezzo del canale *l*, può mettere in comunicazione il corpo di pompa *B* col corpo di pompa *A* (fig. 180). Per tali disposizioni, se il robinetto è posto nella posizione della figura 180 i due corpi di pompa comunicano col recipiente, e le cose si passano al modo ordinario. Ma, se facendo girare di un quarto di giro il robinetto, lo si colloca nella posizione della figura 181, il solo corpo di pompa *B* comunica col recipiente ed il corpo di pompa *A* agisce a fare il vuoto nel corpo di pompa *B*. Allora, quando lo stantuffo *A* si alza, l'aria dello spazio nocivo *B* si espande nel corpo di

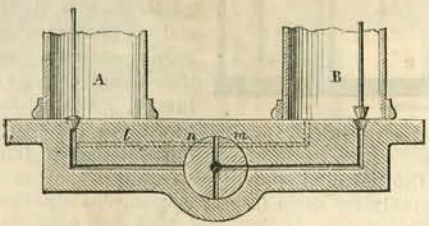


Fig. 181.

(1) Così diconsi gli inevitabili interstizj esistenti tra il fondo del corpo di pompa e la base inferiore dello stantuffo, supposto in fine della corsa discendente.

pompa *A*: quando accade il movimento inverso, l'aria rarefatta in *B* si rarefà maggiormente e richiama di conseguenza nuova aria dal recipiente.

Quest'aria sarà in seguito spinta in *A*, ed ivi, compressa dal moto discendente del rispettivo stantuffo, potrà, ordinariamente dopo alcuni colpi di stantuffo, acquistare una forza espansiva sufficiente per sfuggire all'esterno. Questa duplice azione cesserà quando non sarà più possibile all'aria del corpo di pompa *B* di passare nel corpo *A* (1).

(1) Nei nostri gabinetti si vedono ora più spesso delle macchine ad uno o due corpi di pompa (fig. 183), dovute all'officina milanese il « Tecnomasio italiano », nelle quali, il movimento alternativo rettilineo dello tantuffo si ottiene per trasformazione del moto circolare continuo impresso dalla mano ad un albero munito di volante. La manovra di queste macchine è senza confronto più agevole di quella della macchina sopradescritta. In esse è reso automatico anche il movimento della valvola di sfogo *R*, collocata in una cavità dello stantuffo. Questa valvola (fig. 182) è trattenuta contro la sua sede da una molla spirale, e portata da un'asticina terminata alla sua parte superiore da una capocchia. Ai fianchi di questa si trovano due piccole leve *I*, *I*, uno dei bracci delle quali arriva fin sotto la capocchia; l'altro passa all'esterno del gambo dello stantuffo.

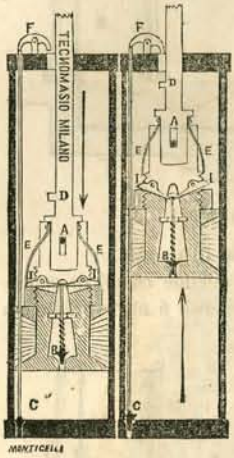


Fig. 182.

L'asta dello stantuffo non è rigidamente unita a questo, ma è congiunta a snodatura col gambo dello stantuffo stesso per mezzo di un bulzone cilindrico *A*: però i fori corrispondenti, praticati nel gambo dello stantuffo, sono a forma di elisse coll'asse maggiore disposto verticalmente, cosichè l'asta può eseguire un piccolo movimento indipendentemente dallo stuntuffo. Lateralmente all'asta son fissate due linguette *E*, *E* le quali, quando l'asta si trova nella posizione più bassa possibile rispetto allo stantuffo, (figura a sinistra) vengono a premere col loro estremo libero sugli estremi esterni delle due leve *I*, *I*; quando invece, l'asta si trova nella posizione più alta, non havvi più contatto tra gli estremi delle linguette e quelli delle leve (figura a destra).

Ciò posto, si supponga lo stantuffo all'estremo inferiore della sua corsa; al principiare della fase di ascesa, l'asta eseguisce da sola un piccolo movimento ascenzionale, le linguette *E*, *E* non appoggiano sulle leve e la valvola dello stantuffo è trattenuta contro la sua sede dalla molla spirale: in questa disposizione di cose, che si mantiene durante tutta la fase di ascesa, la capocchia tiene abbassati gli estremi interni delle leve *I*, *I*, e quindi alzati i loro estremi esterni.

Appena incomincia la fase di discesa, l'asta, abbassandosi da sola, preme, per mezzo delle linguette *E E*, contro gli estremi esterni delle leve *I I*, gli estremi interni si sollevano ed, agendo sotto la capocchia, alzano la valvola *R* e la mantengono sollevata per tutta la fase di discesa. Al cominciare della fase successiva la valvola *R* è lasciata libera, chiude la corrispondente apertura, e così di seguito.

Con tal disposizione, essendo la valvola di sfogo *R* manovrata dalla forza motrice, si ha la certezza che durante la discesa essa è sempre aperta; di più, l'aria sotto lo stantuffo non ha da vincere alcuna resistenza per aprirsi il

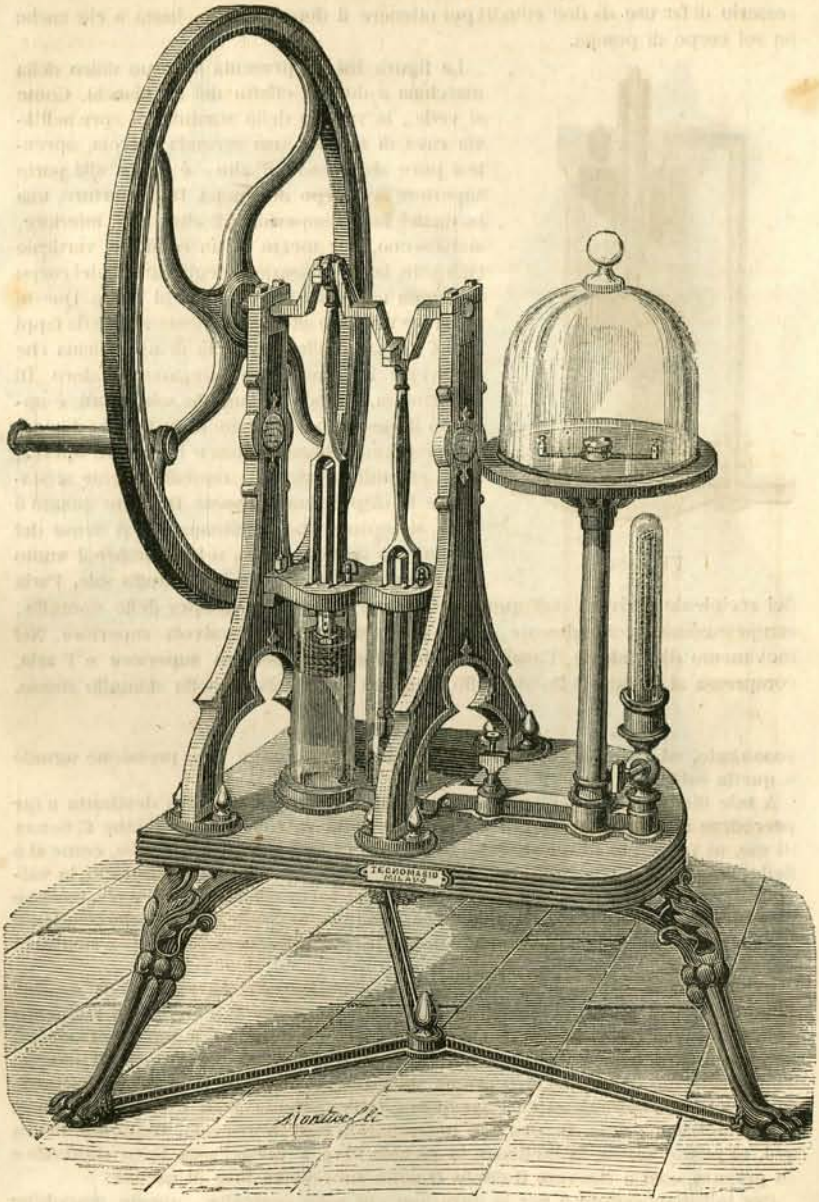


Fig. 183.

204. Macchina a doppio effetto ad un sol cilindro. — Non è del resto necessario di far uso di due cilindri per ottenere il doppio effetto, basta a ciò anche un sol corpo di pompa.

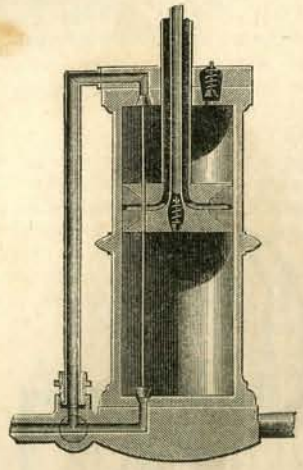


Fig. 184.

La figura 184 rappresenta il corpo unico della macchina a doppio effetto del S.r Bianchi. Come si vede, la valvola dello stantuffo si apre nell'asta cava di questo; una seconda valvola, aprentesi pure dal basso all'alto, è posta alla parte superiore del corpo di pompa. Due aperture, una posta nel fondo superiore, l'altra nell'inferiore, stabiliscono, per mezzo di un condotto verticale ripiegato, la comunicazione degli estremi del corpo di pompa col canale che conduce al piatto. Queste aperture vengono alternativamente chiuse da tappi conici portati dalle estremità di un'asticina che attraversa lo stantuffo a sfregamento duro. Di tal maniera, quando lo stantuffo sale, come è appunto il caso rappresentato dalla figura, l'apertura superiore rimane chiusa e l'inferiore aperta; se lo stantuffo discende, immediatamente si stabilisce la disposizione opposta. Da tutto quanto è detto si capisce che, qualunque sia il senso del movimento dello stantuffo, si farà sempre il vuoto nel recipiente. Infatti, se lo stantuffo sale, l'aria del recipiente arriverà dall'apertura inferiore e l'aria al disopra dello stantuffo, comprimendosi gradualmente, finirà per sfuggire dalla valvola superiore. Nel movimento discendente, l'aspirazione ha luogo dall'apertura superiore e l'aria, compressa al disotto dello stantuffo, sfuggirà dalla valvola dello stantuffo stesso.

passaggio, ed esce quindi non appena abbia raggiunta una pressione uguale a quella esterna.

A tale disposizione però non ne può andar disgiunta un altra destinata a far precedere alla fase di discesa la chiusura della valvola di aspirazione *C*. Senza di ciò, al principio di questa fase, la valvola di sfogo *R* si aprirebbe, come si è detto, mentre, non essendo ancor cominciata la discesa dello stantuffo, la valvola di aspirazione *C* sarebbe ancora aperta; tal condizione di cose renderebbe evidentemente inservibile la macchina, giacchè, essendo contemporaneamente aperte ambedue le valvole, l'aria esterna troverebbe libera la via per rientrare nel recipiente.

Ecco come si ottiene la precezione nella chiusura della valvola di aspirazione *C*. L'asta porta, in opportuna posizione, un dente *D* il quale, un momento prima del termine della corsa ascendente, viene ad urtare in uno degli estremi di una piccola leva di primo genere *F*, posta sul coperchio del corpo di pompa; l'altro estremo di questa leva preme sul prolungamento dell'asticina portante la valvola di aspirazione *C*: l'apertura corrispondente vien così chiusa dalla forza motrice, prima ancora che incominci la fase di discesa; l'asticina stessa poi, al primo salire, fa inclinare la piccola leva *F* verso l'asta dello stantuffo e la prepara così a ricevere il dente *D* nella successiva fase di ascesa.

Per tali disposizioni e per la cura con cui sono costruite, queste macchine permettono di raggiungere gli stessi vantaggi della disposizione di Babinet: la pratica ha poi mostrato che la loro conservabilità e sicurezza nei movimenti delle diverse parti, è assai maggiore che nelle macchine usuali sopra descitte.

NOTA DEL TRADUTTORE.

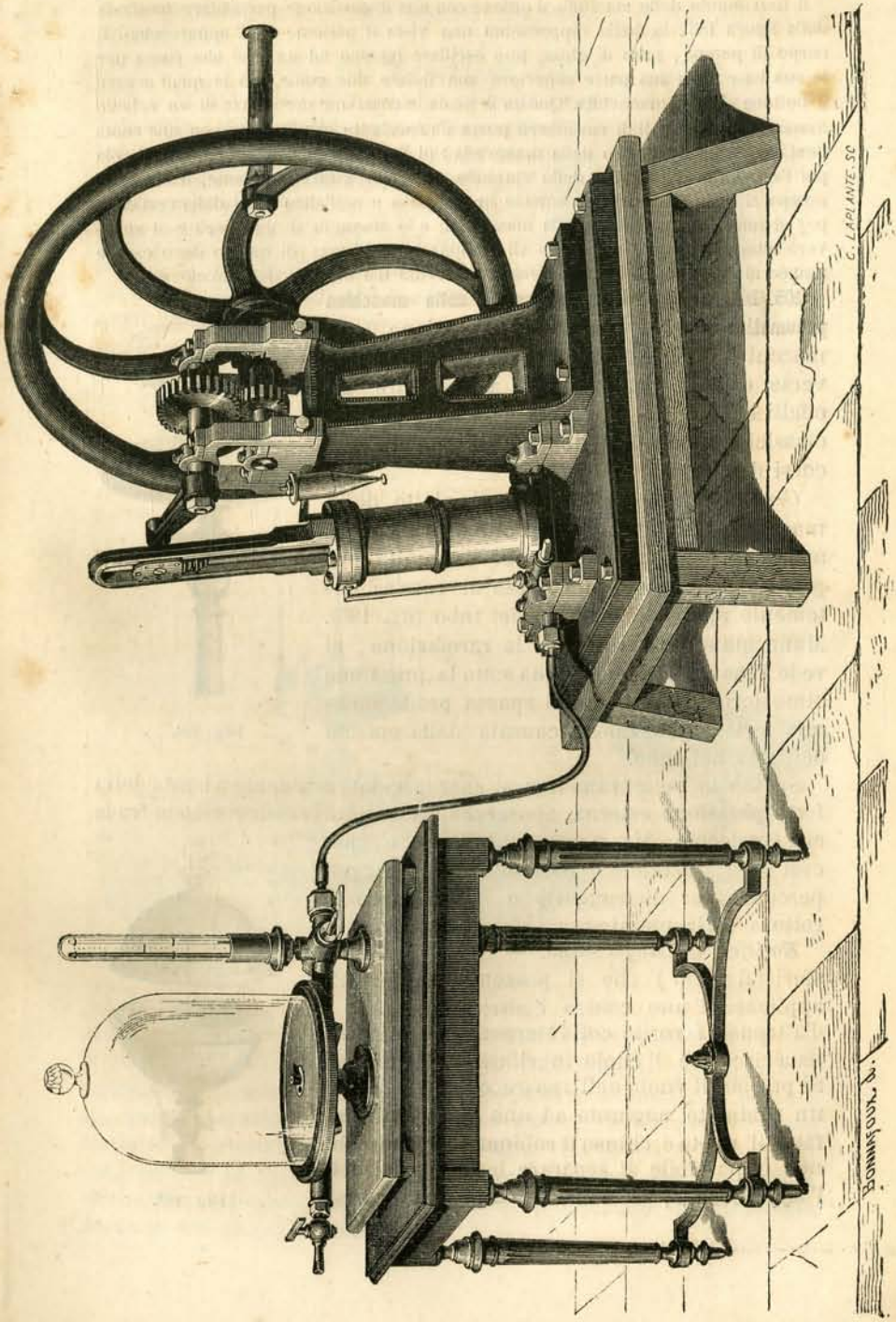


Fig. 185.

Il movimento dello stantuffo si ottiene con una disposizione particolare mostrata dalla figura 185, la quale rappresenta una vista d'assieme dell'apparecchio. Il corpo di pompa, tutto di ghisa, può oscillare intorno ad un asse che passa per la sua base; alla sua parte superiore son fissate due guide, tra le quali scorre il bottone di una manovella. Questa è posta in rotazione per mezzo di un volante massiccio di ghisa, il di cui albero porta un rocchetto che ingrana con una ruota dentata, fissata sull'albero della manovella: al bottone della manovella si articola poi l'estremità del gambo dello stantuffo. Facendo girare il volante, il corpo di pompa si inclinerà successivamente in un senso e nell'altro fuori dalla verticale, per seguire il movimento della manovella, e lo stantuffo si abbasserà e si solleverà alternativamente nel corpo di pompa; la lunghezza di questo deve essere uguale al diametro della circonferenza descritta dal bottone della manovella.

205. Diverse esperienze eseguibili colla macchina pneumatica. — All' epoca dell' invenzione della macchina pneumatica vennero immaginate diverse esperienze, destinate a mostrare gli effetti del vuoto; alcune fra esse son divenute classiche e si ripetono ordinariamente nei corsi di fisica.

Fig. 186.

Crepa vesciche. — Si pone sul piatto della macchina pneumatica un cilindro di vetro aperto ai due capi, la di cui estremità superiore è chiusa da un pezzo di vescica fortemente applicato sull'orlo del tubo (fig. 186). Mano mano che si spinge la rarefazione, si vede incavarsi la membrana sotto la pressione atmosferica, finalmente si spacca producendo una forte detonazione, causata dalla entrata dell'aria nel tubo.

Spesso la membrana non si spacca spontaneamente ad onta della forte pressione esterna, conservandosi l'equilibrio di coesione fra le sue molecole. Ma questo equilibrio è, per così dire, instabile e bastano alcune leggeri percosse per distruggerlo e determinare la rottura della membrana.

Fig 187.

Emisferi di Magdeburgo. — Sono due emisferi (fig. 187) che si possono esattamente applicare l'uno contro l'altro; la tenuta è d'altronde favorita coll'interposizione di una lista circolare di cuojo lubrificato con grasso. Si pratica il vuoto nell'apparecchio, il quale ha un robinetto aggiunto ad uno degli emisferi; fatto il vuoto e chiuso il robinetto, si trova che non è possibile di separare le due parti dell'apparecchio, se non con una forza consi-

derevole, tanto più grande quanto maggiore è il diametro degli emisferi.

Questa resistenza alla separazione devesi alla pressione che l'aria esterna esercita normalmente sopra ciascun punto della superfice e che non è controbilanciata che da una pressione interna assai debole. Per rendersi conto dell'effetto risultante di queste diverse pressioni, si supponga che la superfice esterna, invece di essere sferica, sia formata da una serie di gradini, vale a dire, supposto l'asse degli emisferi collocato verticalmente, di parti piane, alternativamente orizzontali e verticali.

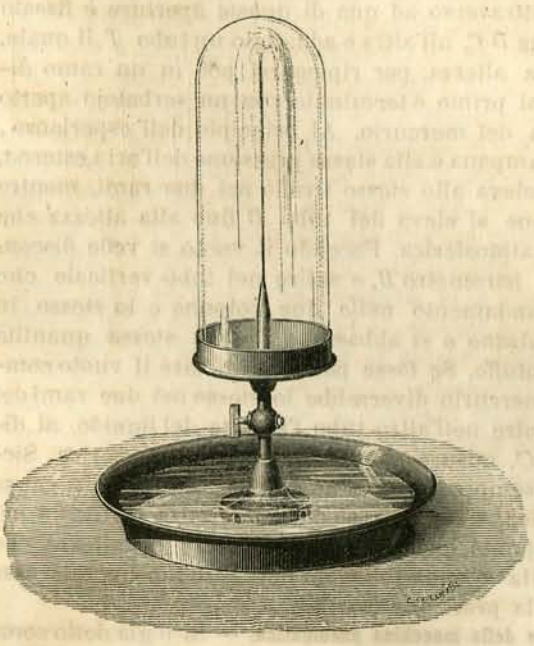


Fig. 188.

Fig. 189.

È chiaro allora che le pressioni esercitantesi su quest'ultime non avranno influenza sull'aderenza degli emisferi, a questo effetto agiranno solamente le pressioni sulle parti orizzontali; la somma di queste pressioni è evidentemente uguale alla pressione che l'atmosfera eserciterebbe sopra il cerchio che forma la base degli emisferi. Se la superfice di questo cerchio misura, per esempio, 1 decimetro quadrato, ciascun emisfero è applicato all'altro colla forza di 103 chilogrammi.

Fontana nel vuoto. — È formata da una campana di vetro (fig. 188) la di cui base è attraversata da un tubo munito di robinetto, così da poter fare il vuoto nella campana. Fatto il vuoto si colloca la parte inferiore dell'apparecchio in un vaso contenente aqua e si apre il robinetto; il liquido, premuto al di fuori dall'atmosfera, si slancia nel tubo e zampilla nella campana. Si fa qualche volta l'esperienza in senso inverso: si colloca cioè sotto la campana della macchina pneumatica una boccetta parzialmente riempita d'acqua, il di cui tappo è attraversato di un tubo aperto ai due estremi. Man mano che avanza la rarefazione, l'aria dell'ampolla agisce pel suo eccesso di pressione sul liquido, e lo fa zampillare.

Campana a doppio baromentro. — Si colloca sul piatto della macchina una campana alla di cui parte superiore sono praticate due aperture (fig. 189). Attraverso ad una di queste aperture è fissato un barometro a sifone *B C*, all'altra è addattato un tubo *T* il quale, si eleva ad una certa altezza, per ripiegarsi poi in un ramo discendente, parallelo al primo e terminato con un serbatojo aperto *C'*, nel quale si trova del mercurio. Al principio dell'esperienza, quando l'aria della campana è alla stessa pressione dell'aria esterna, il mercurio in *C'* si eleva allo stesso livello nei due rami, mentre nel barometro a sifone si eleva nel tubo *B* fino alla altezza che misura la pressione atmosferica. Facendo il vuoto si vede discendere il mercurio nel barometro *B*, e salire nel tubo verticale che comunica con *C'*. L'andamento nelle due colonne è lo stesso in grandezza; esse si alzano e si abbassano di una stessa quantità ad ogni colpo di stantuffo. Se fosse possibile di fare il vuoto completo, il livello del mercurio diverrebbe lo stesso nei due rami del barometro *B C*, mentre nell'altro tubo l'altezza del liquido, al disopra del livello in *C'*, misurerebbe la pressione atmosferica. Siccome invece rimane sempre un po' d'aria nella campana, in causa della sua forza elastica, si ha una piccola differenza di livello nel barometro, ed è appunto questa stessa differenza di altezza che manca all'altezza della colonna sollevata nell'altro tubo, perchè essa misuri esattamente la pressione esterna.

206. Limite dell'azione della macchina pneumatica. — Si è già detto come la macchina pneumatica non può produrre una rarefazione indefinita e che vi ha un limite nella sua azione: l'aria del recipiente possiede allora una forza elastica che non è più possibile di oltre abbassare.

Se la macchina è di cattiva costruzione, questa forza elastica può essere notevole; ma, in ogni modo, essa è sempre sensibile: una macchina del genere di quelle descritte può dirsi assai buona quando spinge il vuoto ad un mezzo millimetro di mercurio; è difficile che si raggiunga un limite inferiore a questo.

Le cause di questo limite d'azione della macchina sono diverse. La più importante e la più generale è la non abbastanza perfetta connessione dei diversi pezzi. È impossibile che non si verifichino in diversi punti delle entrate d'aria; sul principio queste entrate sono di poca importanza, relativamente alla quantità d'aria che si estrae; ma, a misura che la rarefazione si avanza, questi accessi d'aria si fanno con maggior facilità, appunto in causa della debole pressione interna, ed arriva in fine un momento in cui la quantità d'aria entrante uguaglia quella che, in uno stesso tempo, vien espulsa dal giuoco della macchina.

A questa causa generale si aggiungono delle cause particolari dipendenti dal modo di costruzione stesso. Così, per esempio, all'istante in cui lo stantuffo comincia il suo moto discendente, bisognerebbe che fosse già chiusa l'apertura del condotto inferiore. Ciò non ha luogo e nel breve momento durante il quale l'apertura è scoperta, dell'aria è ricacciata nel recipiente. Si sono costruite macchine nelle quali si ottiene la chiusura automatica del condotto citato, un momento prima che lo stantuffo abbia raggiunto la sommità della sua corsa. Ad onta del carattere razionale di questa modificazione, essa non è generalmente usata in causa della maggiore complicazione dell'apparecchio (vedasi la nota a pag. 180).

Un'altra delle circostanze alle quali si attribuisce l'influenza più dannosa, è quella dei così detti *spazj nocivi*. Si chiamano così gli spazi che, ad onta delle maggiori cure di costruzione, esistono sempre tra il fondo del corpo di pompa e la base inferiore dello stantuffo, quando questo è al punto più basso della sua corsa: si capisce come questi spazi debbano contenere dell'aria alla pressione esterna. Quando si solleva lo stantuffo quest'aria si rarefa, è vero, ma conserva però sempre una certa forza elastica, ed è ben chiaro che, allorquando l'aria del recipiente sarà ridotta a questo grado di rarefazione, la macchina cesserà di produrre un effetto utile.

Se v è il volume dello spazio nocivo, V il volume del corpo di pompa; l'aria che sotto il volume v possiede una tensione H, uguale a quella dell'atmosfera, sotto il volume V assumerà una pressione misurata da $H \frac{v}{V}$. È questo il limite di rarefazione, dedotto dalla considerazione degli spazi nocivi.

Finalmente la causa, può darsi, la più grave e la pù difficile a schivarsi, è il disciogliersi dell'aria nell'olio che serve a lubrificare lo stantuffo. Quest'olio vien versato sopra lo stantuffo; ma spinto dall'aria esterna nella fase di rarefazione dello spazio sottostante, scivola tra lo stantuffo ed il corpo di pompa e finisce sempre per raccogliersi in quantità più o meno grande sul fondo di questo. Quest'olio assorbe dell'aria, che rende poi parzialmente quando si solleva lo stantuffo: ciò impaccia naturalmente il funzionamento della macchina.

Si è cercato di togliere gli spazi nocivi facendo uso di una specie di stantuffo di mercurio. Questa disposizione ha d'altra parte anche il vantaggio di produrre un riempimento più perfetto e, per conseguenza, di impedire le entrate d'aria. In queste macchine si può pure evitare l'impiego degli oli e togliere il grave difetto che, come si è detto, deriva dal loro impiego. Il seguente apparecchio è fondato su questo principio.

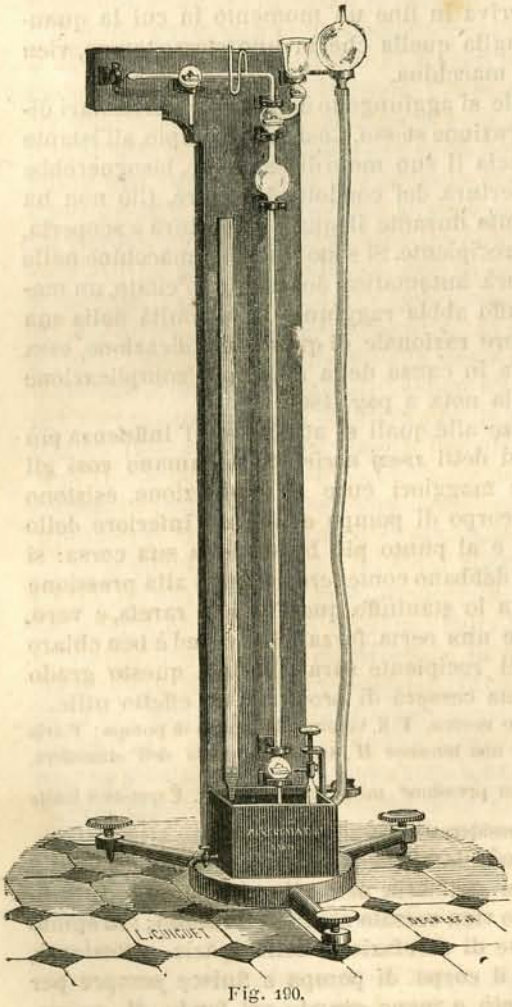


Fig. 190.

207. Macchina di Geissler. — Geissler, costruttore a Berlino, ha immaginato una macchina a mercurio colla quale si ottiene la rarefazione, facendo comunicare il recipiente col vuoto barometrico. La figura 190 rappresenta una macchina analoga, costruita con molta perfezione dal sig. Alvergniat. Si compone essa di un tubo verticale, che serve di tubo barometrico, comunicante alla parte inferiore, per mezzo di un lungo tubo di cautchouc, con un pallone che serve da vaschetta.

Alla parte superiore del tubo si trova un robinetto a tre vie, per mezzo del quale puossi stabilire la comunicazione, sia alla sinistra col recipiente nel quale si deve fare il vuoto, sia alla destra con un imbuto, preceduto esso stesso da un robinetto ordinario.

Un altro robinetto, posto nel condotto a sinistra, permette di stabilire o di intercettare la comunicazione col recipiente: tutti questi robinetti sono di vetro.

Ciò posto, ecco come si manovra l' apparecchio. Le comunicazioni essendo aperte dalla parte dell' imbuto, si solleva il pallone servente da vaschetta e lo si colloca, come mostra la figura, ad un livello superiore a quello del robinetto dell'imbuto.

Per le condizioni d' equilibrio dei liquidi nei vasi comunicanti, il mercurio riempie il tubo barometrico, la parte che lo congiunge all'imbuto ed una parte dell' imbuto stesso. Se si toglie allora la comunicazione con quest'ultimo e si abbassa la vaschetta, si forma il vuoto barometrico nella parte superiore dell'apparecchio.

Si stabiliscono allora le comunicazioni col recipiente; l' aria di questo si espande nel vuoto barometrico, e la colonna di mercurio si abbassa di alcun poco. Si chiude allora la comunicazione col recipiente e la si stabilisce dalla parte dell'imbuto, lasciando però chiuso il suo robinetto semplice. Se a questo punto si pone nuovamente il pallone nella posizione indicata dalla figura, l' aria sfugge dall'imbuto, quando gli si apra la via. Si è dunque così levata una parte dell'aria del recipiente e l'apparecchio si trova nella stessa fase che al principio; l'operazione descritta corrisponde ad un colpo di stantuffo. Basterà ripetere successivamente la stessa serie di operazioni per ottenere una graduale refazione.

Questa macchina, nòn contenendo altri organi meccanici fuorchè dei robinetti di vetro, che si sanno oggigiorno costruire con molta perfezione, è suscettibile di una grande potenza.

Usando di mercurio ben secco si ottiene facilmente di spingere la rarefazione sino ad $^1/_{10}$ di millimetro di mercurio. La manovra della macchina è però incomoda e seccante, specialmente se il recipiente ha una capacità appena un po' considerevole.

Per tal motivo non la si impiega direttamente che a fare il vuoto in piccoli recipienti; quando si tratti di recipienti di una certa qual capacità, si incomincia la rarefazione colle macchine ordinarie e si usa la macchina a mercurio solamente per terminare l'operazione.

208. Macchina di compressione. — Dalla descrizione della macchina pneumatica si deduce facilmente che, se in essa si riunissero, con un tubo terminante ad un recipiente, le aperture corrispondenti alle valvole di espulsione, l' aria aspirata dalla macchina si comprimerebbe nel recipiente: la macchina funzionerebbe allora da macchina di compressione. Si vede dunque che la macchina di compressione è, in fondo, simile alla pneumatica; la differenza sta in ciò che

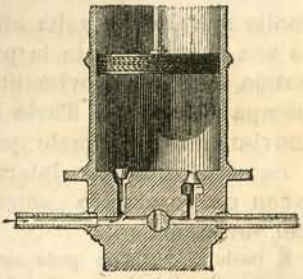


Fig. 191.

il recipiente è dalla banda delle valvole di espulsione, invece che da quella delle valvole di aspirazione; è, per così dire, la macchina pneumatica presa a rovescio.

Questo carattere è assai sensibile in una piccola pompa usata sovente nei gabinetti di fisica, e rappresentata dalla figura 191.

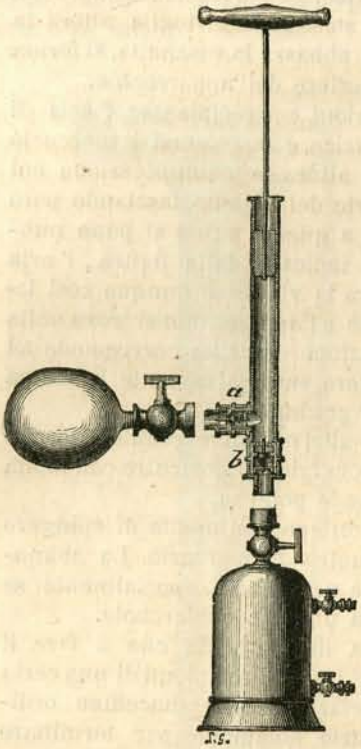


Fig. 192.

Alla base del corpo di pompa, ed in comunicazione con due serbatoi distinti, si trovano, a sinistra una valvola di aspirazione, ed a destra una valvola di espulsione. Se dunque si solleva lo stantuffo si produce la rarefazione nel recipiente a sinistra; abbassando lo stantuffo si comprime il gas aspirato nel serbatojo a dritta.

209. Pompa di compressione. — La figura 192 rappresenta una pompa di compressione molto usata. Alla parte inferiore del corpo di pompa si trova una valvola *b* aprentesi dall' alto al basso; ad un tubo laterale è applicata una valvola *a* di aspirazione, aprentesi dall' esterno all' interno. La figura mostra la disposizione di queste valvole: esse sono tappi conici in metallo, muniti di una asticina che passa attraverso ad una piccola traversa forata, collocata alla parte posteriore della valvola; disposizione questa che ha per iscopo di impedire il rovesciamento delle valvole stesse: una piccola molla spirale è avvolta all'asticina e mantiene la valvola contro la sua sede. Avvitata la parte inferiore della pompa su di un serbatojo, ad ogni movimento ascendente dello stantuffo il corpo di pompa si riempirà d'aria introducentesi della valvola *a*, ad ogni movimento discendente quest' aria verrà spinta nel serbatojo.

Se si pone il tubo laterale in comunicazione con una vescica o con un gasometro contenenti un gas, questo si potrà comprimere nel serbatojo.

È facile di calcolare quale sarà la forza elastica dell'aria compressa dopo un dato numero di colpi di stantuffo. Sia v il volume del corpo di pompa e V il volume del serbatojo; ad ogni colpo di stantuffo entra nel serbatojo un volume v d' aria

e quindi, dopo n colpi, ne sarà entrato un volume nv. L'aria contenuta nel serbatojo occupava dunque, sotto la pressione atmosferica H, un volume $V+vn$; ridotto questo volume a V, la legge di Mariotte fornisce facilmente la pressione π richiesta:

$$\pi = H \frac{V+vn}{V}$$

Come si vede, questa pressione può teoricamente aumentare indefinitivamente, non essendovi altro limite che quello imposto dalla resistenza degli apparecchi e dalla grandezza della forza motrice.

Però gli spazi nocivi avrebbero, anche in queste macchine, l'effetto di stabilire un limite d'azione. Si osservi però la diversa influenza degli spazi nocivi, dal lato pratico, sulla macchina pneumatica e su quella di compressione. Nella prima lo scopo è quello di rarefare l'aria *quanto è possibile* e quindi gli spazi nocivi rappresentano sempre un'ostacolo. Nella macchina di compressione invece si ha per iscopo di raggiungere un limite fissato di compressione ed il costruttore dispone in modo che questo limite sia inferiore al limite d'azione della macchina cosichè lo si possa completamente raggiungere.

210. Compressione dell'aria nell'industria. — L'aria compressa costituisce una forza motrice le di cui applicazioni, già numerose, sono suscettibili di estendersi maggiormente.

Onde ottenere un sufficiente grado di compressione, si accoppiano, in modi diversi, pompe analoghe a quelle sopra descritte. La figura 193 rappresenta il sistema usato da Regnault nelle sue ricerche sulla legge di Mariotte e sulle forze elastiche dei vapori. Si compone di tre pompe le di cui aste sono articolate, per l'intermezzo di bielle, a tre parti di un albero piegate a gomito; l'albero stesso, munito di volante, è messo in movimento per mezzo di una o due manovelle.

Le diverse valvole di aspirazione comunicano con un unico serbatojo in relazione coll'aria esterna; il gas compresso vien spinto in un altro serbatojo in comunicazione cogli apparecchi particolari sui quali si esperimenta.

Il calore suiluppantesi nella compressioone dell'aria costituisce un grave ostacolo al funzionamento di questi apparecchi: esso altera le guarniture e dà luogo spesso ad un aggrapparsi dello stantuffo contro il corpo di pompa, difficile da vincere. In alcune macchine industriali si attenua questo inconveniente col mantener immerse le valvole inferiori, disposizione che ha, d'altra parte, il vantaggio di togliere gli spazi nocivi. Si può così spingere la pressione dell'aria fino a 40 atmosfere. Del resto si può comprimere l'aria direttamente, senza far uso di pompe, quando si possa utilizzare una caduta d'aqua di sufficiente altezza. Basta per ciò far arrivare il liquido, per mezzo di un tubo, al fondo di un serbatojo contenente dell'aria; questa si comprime fino al punto che la sua forza espansiva sorpassi la pressione atmosferica di tanto quanto è misurato dall'altezza della caduta di cui si dispone.

L'aria compressa usata pel movimento delle macchine perforatrici adoperate nel perforamento del monte Cenisio, si otteneva con disposizioni di questo genere.

211. Applicazioni della macchina pneumatica e dell' aria compressa. — A parte gli usi di laboratorio della macchina pneumatica e della macchina di compressione, l'industria utilizza per diversi scopi questi apparecchi.

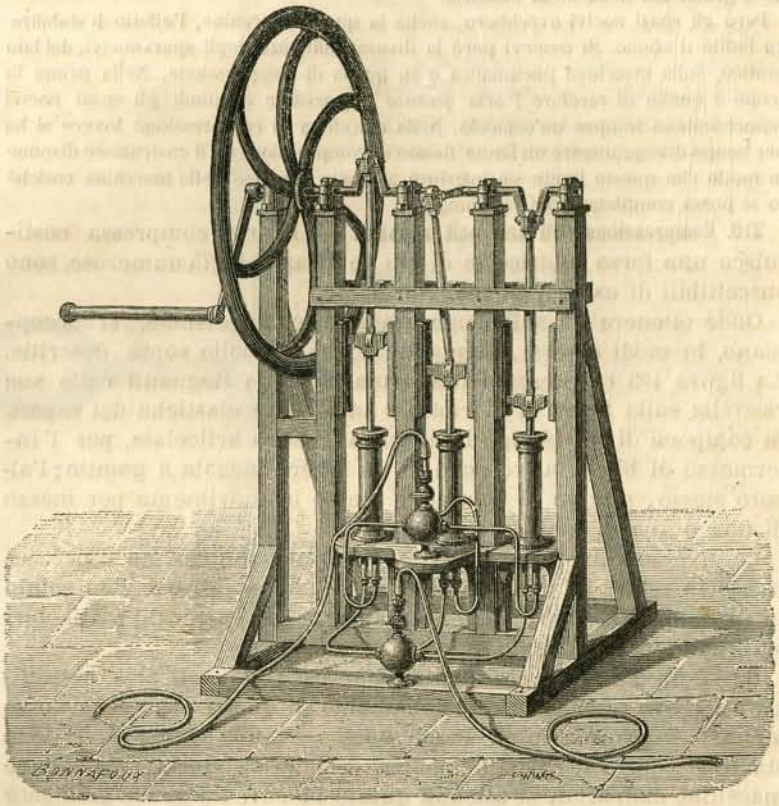


Fig. 193.

La macchina pneumatica è usata nelle officine onde rendere più facile e più rapida l'evaporazione dei siroppi. Le pompe di compressione sono impiegate nelle fabbriche di aque gasose, di Seltz, per spingere e comprimere l'acido carbonico nel serbatojo contenente l'aqua destinata a sciogliere il gas. Il piccolo apparecchio sopra descritto (fig. 192) potrebbe servire per questa operazione; basterebbe per ciò di riempiere di acido carbonico il recipiente

laterale e di porre dell'aqua nel serbatojo inferiore. È per mezzo dell' aria compressa che si son stabilite le fondazioni dei ponti in fiumi nei quali la natura sabbiosa del suolo rendeva necessario un lavoro molto profondo. Si fanno a tal uopo scendere gradualmente nel fiume dei grandi tubi, nei quali si comprime l'aria; questa, così compressa, espelle l'aqua, e gli operai possono allora entrare nell'apparecchio da una specie di chiusa, e lavorare a secco È in questo modo, per esempio, che furono poste le fondazioni del ponte di Kehl e del ponte della strada ferrata a Bordeaux.

L' amministrazione dei telegrafi di Parigi, appunto col mezzo della compressione dell' aria, manda da un ufficio all' altro quei dispacci la di cui trasmissione esigerebbe un tempo troppo lungo ed incompatibile colle esigenze del servizio. Le due stazioni sono riunite con un tubo di rame; in ciascuna di esse si trova un serbatojo nel quale si comprime l'aria per mezzo delle aque della città, le quali, secondo i luoghi, hanno una carica dagli 8 ai 20 metri. L' aria compressa è lanciata nel tubo posteriormente ad una specie di treno, formato da uno stantuffo precedudo da una serie di cassette contenenti i dispacci; la velocità media di trasmissione è circa di 500 metri al minuto.

Aggiungansi a queste applicazioni le grandi macchine soffianti che spingono l' aria nei forni delle officine, le quali sono vere macchine di compressione.

CAPITOLO XII.

SPINTA DELL'ARIA.

212. Baroscopio. — L'aria atmosferica esercita, come si è già detto, una spinta sui corpi in essa immersi. Questa spinta, dietro il principio di Archimede, il quale è applicabile ai gas come lo è ai liquidi, è misurata dal peso dell' aria spostata. Ne consegue che il peso di un corpo nell'aria non uguaglia il suo peso reale; questo riesce diminuito di una quantità uguale alla spinta. Il baroscopio serve a dimostrare questa influenza della spinta.

È questo istrumento (fig. 194) una specie di bilancia, alle estremità del cui giogo sono appese due sfere di diametro assai diverso, che si fanno equilibrio nell'aria. Se si colloca l'apparecchio sotto la campana della macchina pneumatica; fin dai primi colpi di stantuffo, si vede il giogo inclinarsi dal lato della sfera di maggior diametro e l'inclinazione aumentare poi di pari passo colla rare-

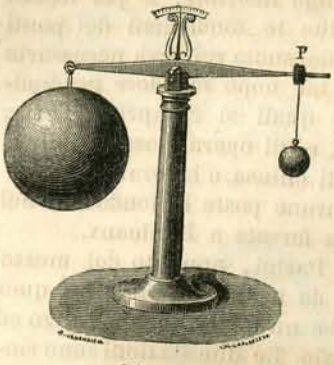


Fig. 194.

fazione. Per la diminuita spinta, il peso di ciascuna sfera si trova accresciuto di quello di un ugual volume di aria, avente per densità la differenza tra la densità iniziale e la densità attuale dell'aria sotto la campana; questo accrescimento deve pertanto riescire maggiore per la sfera di maggior diametro e così si spiega il fenomeno. Se, dopo fatto il vuoto, si lasciasse entrare nel recipiente dell'acido carbonico, gas più denso dell'aria, ne risulterebbe un accrescimento di spinta più grande per la sfera di maggior diametro che non per la più piccola ed il giogo si inclinerebbe dalla parte di questa.

Sia x il peso effettivo di un corpo (peso nel vuoto), a cui fa equilibrio un peso segnato P grammi, D il peso specifico del corpo, M il peso specifico della sostanza di cui è fatto il peso segnato, α il peso specifico dell'aria. Il peso apparente del corpo è allora $x - \frac{x}{D}\alpha = x\left(1 - \frac{\alpha}{D}\right)$, e quello del peso segnato, $P\left(1 + \frac{\alpha}{M}\right)$. Sono questi due pesi apparenti che si fanno equilibrio nell'aria, quindi:

$$x\left(1 - \frac{\alpha}{D}\right) = P\left(1 - \frac{\alpha}{M}\right)$$

da cui:

$$x = P\,\frac{1 - \frac{\alpha}{M}}{1 - \frac{\alpha}{D}}$$

Si tratti, per esempio, di un pezzo di zolfo, il cui peso apparente si è trovato di 100 gr. In questo caso sono: $D = 2$, $M = 8{,}8$ (rame), $\alpha = {}^1/_{770}$, quindi:

$$x = 100\,\frac{1 - \frac{1}{770\,.\,8{,}8}}{1 - \frac{1}{770\,.\,2}} = 100{,}05$$

si vede dunque che l'influenza della spinta dell'aria non è trascurabile.

Se i corpi da pesare sono della stessa natura dei pesi segnati, naturalmente non vi sarà bisogno di correzione. Quando poi si cerchi il rapporto tra i pesi di due corpi, non occorrerà di tener calcolo della spinta sui pesi segnati, giacchè, facendo il quoziente, il fattore correttivo corrispondente si elimina.

213. Areostati. — Supposto un corpo il di cui peso sia minore del peso di un volume d'aria uguale e quello del corpo stesso, questo dovrà elevarsi nell'atmosfera.

Se, per esempio, si gonfiano delle bolle di saponata con gas idro-

geno e si distaccano poi, con un movimento brusco, dall'estremità del tubo dove esse si formano, le si vedranno, se il loro volume è abbastanza grande, elevarsi nell'atmosfera. Questa curiosa esperienza (fig. 195) è dovuta al fisico Cavallo, che la fece conoscere nel 1782 (1).

Su questo stesso principio sono fondati gli areostati, i quali, in sostanza, si riducono ad un inviluppo riempito di gas più leggero dell'aria. In ragione di questa differenza di densità si potrà sempre assumere un volume abbastanza grande cosichè il peso dell'inviluppo e del gas in esso contenuto riesca inferiore al peso dell'aria spostata: in questa condizione l'apparecchio si eleverà.

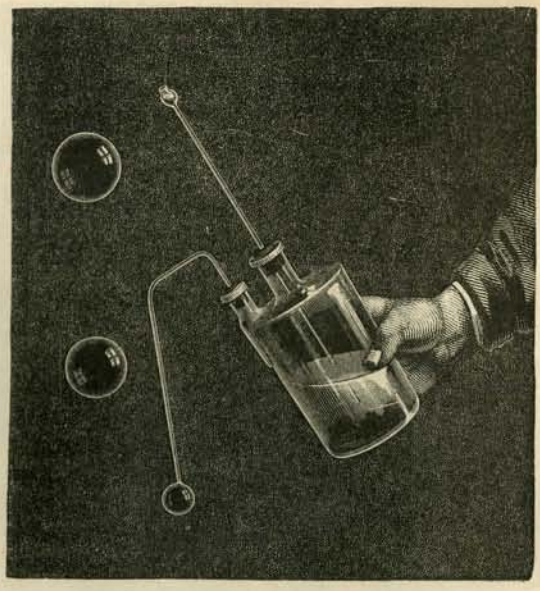


Fig. 195.

L'invenzione degli areostati devesi ai fratelli Giuseppe e Stefano Mongolfier.

I primi areostati da essi costruiti erano specie di globi di carta

(1) La prima idea degli areostati deve attribuirsi al P. Francesco Lana il quale, verso il 1670, propose di fare il vuoto in palloni di rame abbastanza grandi ed abbastanza sottili, così che il loro peso riescisse minore di quello dell' aria spostata. L'esperienza non venne tentata e certamente non sarebbe riescita, giacchè la pressione atmosferica avrebbe schiacciato il globo. Il principio teorico vi è pero completamente sviluppato dall'autore, il quale fa pure un calcolo esatto della forza ascenzionale.

o di carta rivestita di tela, e l'aria al loro interno veniva dilatata per mezzo del calore. È degno di osservazione come nei loro primi esperimenti essi abbiano fatto uso dell'idrogeno e constatato che i globi di carta riempiti di questo gas si elevavano; l'ascenzione era però di corta durata, giacchè il gas attraversava facilmente la carta; essi rinunciarono perciò all'impiego dell'idrogeno e si servirono dell'aria calda.

Ai palloni ad aria calda si dà in particolare il nome di *mongolfiere*. Queste sono costituite da un invoglio avente una larga apertura alla parte inferiore; sotto questa apertura si appende uno

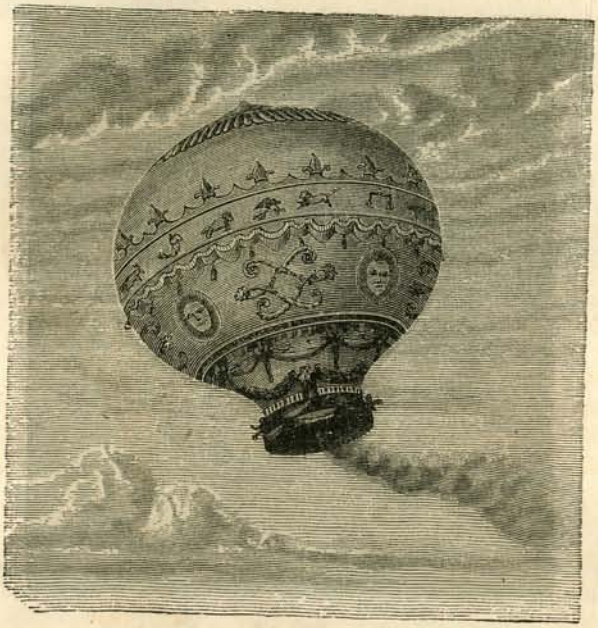


Fig. 196.

scaldino nel quale, al momento dell'ascenzione, si accendono delle sostanze combustibili; questa misura ha per iscopo di mantenere per un certo tempo la forza ascenzionale.

La prima esperienza in grande dell'ascenzione di una mongolfiera venne fatta ad Annonay il 5 giugno 1783. Il 21 ottobre dello stesso anno Pilatre de Rozier ed il marchese d'Arlandes eseguirono il primo viaggio aereo, colla mongolfiera rappresentata dalla fig. 196.

Il fisico Charles propose di ritornare all'impiego del gas idrogeno, facendo uso di un inviluppo abbastanza impermeabile.

Si usa ordinariamente del taffetas verniciato sulle due faccie o di due foglie di taffetas fra le quali è interposto una lanima di caoutchouc. Oggi giorno, pel riempimento, si fa uso spesso del gas illuminante a motivo della facilità di procurarselo e della minore spesa.

214. Forza ascenzionale. — Dicesi forza ascenzionale la differenza tra il peso dell'areostato e quello dell'aria spostata. È facile di comparare i tre metodi di gonfiamento, esaminando le forze ascenzionali a cui danno luogo. Infatti:

Un metro cubo d'aria pesa	1,300 gr.
Un metro cubo di idrogeno	89
Un metro cubo di gas illuminante circa .	750
Un metro cubo di aria scaldata a 200°. .	800

Si vede dunque che la forza ascenzionale per metro cubo è di 1211 gr. per l'idrogeno, 550 gr. pel gas illuminante, 500 gr. per l'aria calda.

Se, per esempio, si valuta a 1500 kilogrammi il peso totale approssimativo da sollevarsi, per ottenere tal forza ascenzionale abbisognerà un pallone a gas idrogeno della capacità di $\frac{1500}{1210} = 1239$ metri cubi. Col gas illuminante la capacità dovrebbe essere di $\frac{1500}{550} = 2727$ metri cubici.

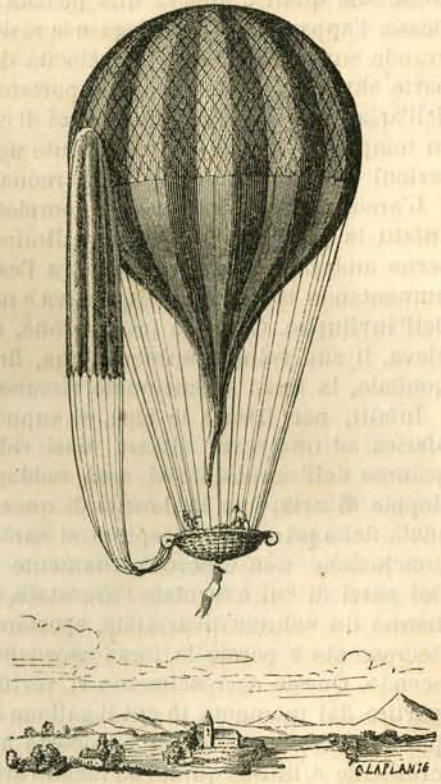


Fig. 197.

La navicella destinata agli areonauti si fa ordinariamente in viminì o in fanoni di balena. Essa è sostenuta da corde attaccantesi ad una rete abbracciante tutto l'emisfero superiore, così che la carica riesca, per quanto è possibile, distribuita uniformemente (fig. 197). Il pallone termina alla parte inferiore con una specie di collo allungato aperto all'estremità.

Alla parte superiore è praticata un' altra apertura, internamente chiusa da una valvola spinta da una molla. Una funicella fissata alla valvola attraversa l' interno del pallone e termina sopra la navicella alla portata della mano dell'areonauta.

Quando si vuol discendere si apre la valvola per qualche momento; del gas sorte, se il gonfiamento è bastevole, o dell'aria entra; in qualunque caso la forza ascenzionale diminuisce. Importante precauzione è quella di portar seco qualche sacco di sabbia ad uso di zavorra, la quale, si versa fuori gradatamente quando si voglia salire o moderare una discesa troppo rapida. Nella fig. 191 si vede un apparecchio detto *paracadute*, per mezzo del quale gli areonauti effettuano, qualche volta, la discesa. È una specie di grande ombrello forato al suo vertice ed al di cui lembo sono fissate delle corde alle quali è appesa una piccola navicella. Abbandonato a sè stesso, l'apparecchio si spiega e la resistenza dell'aria contro la sua grande superfice modera la velocità della caduta. L' apertura alla parte superiore è di somma importanza e serve allo sfogo continuo dell'aria sotto il paracadute, senza di che, essa sfuggirebbe di tempo in tempo dal lembo del paracadute stesso e gli imprimerebbe oscillazioni tali da divenir fatali all'areonauta.

L'areostato non deve essere completamente gonfio alla partenza: Infatti la pressione atmosferica diminuendo coll'elevarsi, il gas interno andrebbe, come lo dimostra l'esperienza accennata al par.° 6, aumentando la sua forza espansiva e ne potrebbe derivare la rottura dell' inviluppo. Con tale precauzione, mano mano che il pallone si eleva, il suo volume aumenta, ma, finchè non sia completamente gonfiato, la forza ascenzionale rimane costante.

Infatti, per fissare le idee, si supponga che la pressione atmosferica ad una certa altezza siasi ridotta a metà della iniziale, il volume dell' aereostato si sarà raddoppiato e sposterà un volume doppio di aria; ma la densità di quest'aria essendo pure ridotta a metà della primitiva, la spinta si sarà conservata costante. Questa conclusione non è però pienamente rigorosa, giacchè una parte dei pezzi di cui è formato l'areostato, come la navicella, le funi ecc., hanno un volume invariabile, spostano dell'aria di densità sempre decrescente e perciò la forza ascenzionale deve pure andar decrescendo. Questo decrescimento si verifica anche per le altre parti a partire dal momento in cui il pallone è completamente gonfio. L'apparecchio si trova allora sottoposto ad una forza gradatamente decrescente e finisce quindi ad incontrare uno strato nel quale, il peso dell'aria spostata è uguale al proprio: in causa della velocità aquisita il pallone sorpassa questo strato, nel quale poi finisce a fissarsi, dopo un certo numero di oscillazioni.

215. Teoria dell'areostato. — Fra la pressione di questo strato, il raggio del-

l'areostato ed il peso delle sue diverse parti, sussiste una relazione facile a stabilirsi, quando si trascurino le variazioni di temperatura, che può servire di guida nella costruzione dell'areostato. Se V è il volume di questo, h la pressione nello strato di equilibrio, H la pressione al suolo, il peso dell'aria spostata è:

$$V \cdot 1{,}293 \frac{h}{H}$$

Siano inoltre p e v il peso ed il volume delle altre diverse parti del sistema, δ la densità del gas interno, l'equazione di equilibrio sarà:

$$(V + v)\, 1{,}293 \frac{h}{H} = V \cdot \delta \frac{h}{H} + p$$

In questa equazione p e v contengono anche il peso ed il volume della stoffa di cui è fatto il pallone, e della rete; queste quantità dipendono evidentemente dal raggio dell'apparecchio e quindi da V. L'equazione deve dunque effettivamente essere più complessa; ma, ciò non pertanto, la si risolverà approssimativamente coi metodi ordinari e se ne dedurrà il raggio da darsi all'areostato, onde arrivi ad uno strato di data pressione. La formula di Laplace fornendo l'altezza a cui si trova questo strato, si potrà, almeno approssimativamente, stimare *a priori* il raggio da darsi ad un areostato per arrivare ad un'altezza determinata.

Il peso che si usa di sollevare si tiene, ciò non ostante, superiore a quello che figura nell'equazione; e ciò per non adoperare alla partenza tutta la forza ascenzionale disponibile: si parte con una forza assai debole e, mano mano che si va elevandosi, si getta della zavorra (1).

CAPITOLO XIII.

DELLE POMPE.

216. Le pompe sono apparecchi destinati ad elevare aqua. Furono in uso fin dagli antichi tempi ed è opinione che esse sieno state inventate da Ctesibio, maestro del celebre Erone d'Alessandria. Fino ai tempi di Galileo la teoria di questi apparecchi era completamente ignota; non fu che in seguito alla cognizione del peso e della pressione dell'aria, stabilita colla esperienza di Torricelli, che si venne a conoscere il vero giuoco dell'ascenzione dell'aqua nelle pompe. Le teoria dell'aspirazione dell'aqua nelle pompe risale dun-

(1) Volendosi calcolare la forza ascenzionale F di un pallone, basterà sottrarre dalla spinta da esso provata, il peso del gas che lo riempie, il peso dell'invoglio e quello di tutti gli annessi; ritenute le notazioni sopra stabilite si avrà:

$$F = (V + v) \times 1{,}293 \frac{H}{760} - V\ \delta \frac{H}{760} - p,$$

intendendosi che V sia misurato sotto la pressione H ed alla temperatura 0°.

NOTA DEL TRADUTTORE.

que all'inaugurazione del metodo sperimentale, propugnato da Galileo, ed al gran moto scientifico che ne fu conseguenza.

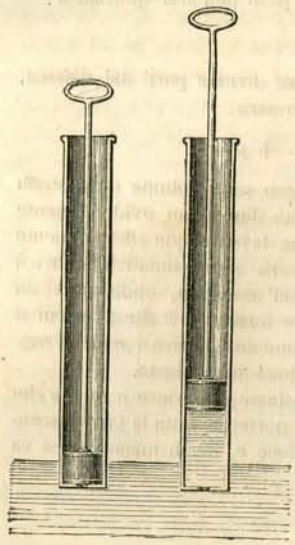


Fig. 198.

217. Principio dell' ascenzione dell' aqua nelle pompe. — Si imagini un tubo (fig. 198), entro il quale si possa muovere uno stantuffo e la di cui parte inferiore, munita di un'apertura, peschi nell'aqua. Se si solleva lo stantuffo, si forma il vuoto al disotto di lui, e la pressione atmosferica, esercitandosi alla superfice esterna del liquido, obbliga questo a salire nel tubo ed a seguire lo stantuffo nel suo movimento. Lo stesso fenomeno di ascenzione si produrrebbe quand'anche vi fosse interposta dell' aria tra la base dello stantuffo e l' aqua, giacchè, pel movimento ascendente dello stantuffo, l'aria si rarefarebbe e la sua pressione, non facendo più equilibrio alla pressione atmosferica, determinerebbe l' ascenzione di una colonna di liquido la di cui pressione, sommata colla forza espansiva dell' aria rinchiusa, uguaglierebbe la pressione esterna. Questo è il principio dell' ascenzione dell' aqua nelle pompe. Questi apparecchi si presentano del resto sotto svariate forme, delle quali ecco i principali tipi.

218. Pompa aspirante. — La pompa aspirante è formata da un corpo di pompa nel quale può muoversi uno stantuffo; il corpo di pompa comunica col serbatoio contenente l' aqua da elevarsi, per mezzo di un tubo di minor diametro, detto tubo di aspirazione. Al luogo di giunzione del corpo di pompa col tubo di aspirazione si trova una valvola aprentesi dal basso all'alto (fig. 199), detta valvola di aspirazione; lo spessore dello stantuffo è attraversato da un'apertura, chiusa pure da una valvola aprentesi dal basso all'alto.

Ciò posto, poniamo che il tubo di aspirazione sia riempito d'aria alla pressione esterna e che, di conseguenza, l'aqua presenti all'interno lo stesso livello che all'esterno. Si supponga inoltre che lo stantuffo si trovi al basso della sua corsa e lo si venga sollevando; formandosi al disotto di esso il vuoto, la valvola di aspirazione si aprirà e l'aria del tubo di aspirazione si espanderà nel corpo di pompa; la sua forza elastica ne riescirà perciò gradualmente diminuita, e la pressione atmosferica determinerà la salita dell' aqua nel tubo, fino ad un' altezza tale che questa altezza, aumentata dalla pres-

sione dell'aria interna, uguagli la pressione atmosferica. Se in seguito si abbassa lo stantuffo, la valvola di aspirazione si chiude e l'aqua si arresta all'altezza alla quale venne sollevata; in quanto all'aria rimasta nel corpo di pompa essa si comprime, apre la valvola dello stantuffo e si sfoga all'esterno. Al secondo colpo di stantuffo l'aqua salirà di una nuova quantità ed una nuova porzione d'aria sfuggirà all'esterno.

Se il tubo di aspirazione misura meno di 10 metri di altezza, dopo un certo numero di colpi di stantuffo, l'aqua potrà raggiungere la valvola e sollevarsi nel corpo di pompa. A partire da questo momento i fenomeni cambiano di natura; infatti, lo stantuffo abbassandosi comprime l'aria, che sfugge all'esterno; ma l'aqua stessa passa al disopra dello stantuffo, di modo che, giunto questo alla parte inferiore della sua corsa, avrà sopra di sè la quantità d'aqua precedentemente entrata nel corpo di pompa. In queste condizioni, supposto che la massima altezza a cui può salire lo stantuffo sia minore di 10 metri al disopra del livello nel pozzo, ciò che deve sempre verificarsi, se si solleva lo stantuffo, l'aqua lo seguirà nella sua corsa e riempirà tutto il corpo di pompa. Nella successiva discesa lo stantuffo farà passare quest'aqua al disopra di sè per versarla poi dal condotto nella susseguente ascensione. Ma in questo atto una nuova quantità di aqua sarà entrata nel corpo di pompa, e le cose continueranno in avanti al modo descritto.

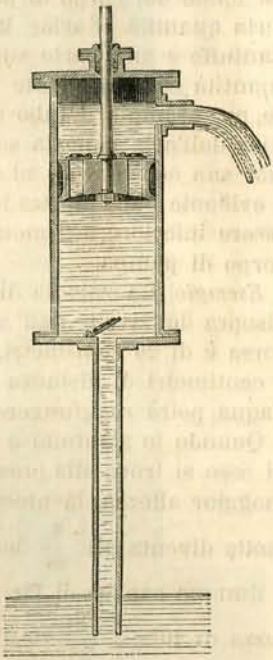


Fig. 199.

Si vede dunque come, a partire dal momento in cui l'aqua è penetrata nel corpo di pompa o, come si dice, dal momento che la pompa è caricata, ogni volta che si solleva lo stantuffo si versa un volume d'aqua uguale al volume generato dallo stantuffo stesso. Perchè l'aqua possa giungere fino nel corpo di pompa è necessario che la valvola di aspirazione si trovi a meno di 10 metri sopra il livello dell'aqua nel pozzo: in caso diverso l'aqua si fermerebbe ad una certa altezza nel tubo di aspirazione ed i movimenti dello stantuffo non sarebbero capaci di farla maggiormente elevare. La pompa aspirante non permette dunque di elevare l'aqua ad un'altezza maggiore di 10 metri. Anzi, in pratica, cogli apparecchi usuali,

l'altezza alla quale l'aqua può essere innalzata è alquanto minore, in causa di imperfezioni di costruzione, dei quali si dirà innanzi.

219. Condizione necessaria onde l'aqua possa arrivare nel corpo di pompa. — Può accadere che l'aqua non possa arrivare nel corpo di pompa, questa non funzioni, sebbene l'altezza totale alla quale lo stantuffo arriva sia minore di 10 metri. Ciò accade quando lo stantuffo, trovandosi alla parte inferiore della sua corsa, non sia in contatto col fondo del corpo di pompa, così da lasciare al disotto di lui una certa quantità d'aria; la forza elastica di quest'aria, quando lo stantuffo è alla parte superiore della sua corsa, diminuisce di una quantità corrispondente l'altezza a cui l'aqua potrebbe giungere. Se, per esempio, il tubo di aspirazione è alto 9^m, 50 e la forza elastica dell'aria rimasta sotto allo stantuffo fa equilibrio, alla maggior sua espansione, ad una colonna d'aqua dell'altezza di 1 metro, è evidente che l'altezza totale alla quale l'aqua potrà arrivare dovrà essere inferiore a 9 metri e quindi essa non potrà giungere nel corpo di pompa.

Esempio. La valvola di aspirazione di una pompa è a 8 metri al disopra del livello dell'acqua nel pozzo e lo stantuffo, la di cui corsa è di 20 centimetri, nella sua posizione più bassa si trova ad 8 centimetri di distanza dalla valvola stessa; in queste condizioni, l'aqua potrà raggiungere il corpo di pompa?

Quando lo stantuffo è al basso della sua corsa l'aria al disotto di esso si trova alla pressione atmosferica; quando ha raggiunta la maggior altezza, la pressione dell'aria stessa, per la legge di Mariotte diventa gli $\frac{8}{28}$ della pressione atmosferica; questa pressione è dunque capace di far equilibrio ad una colonna d'aqua dell'altezza di $10^m \times \frac{8}{28} = 2^m, 8$. La massima altezza dunque a cui l'aqua può giungere è di $10^m - 2^m, 8 = 7^m, 2$; siccome il tubo di aspirazione è alto 8 metri, così l'aqua non potrà, nel caso supposto, giungere nel corpo di pompa.

220. Forza necessaria a sollevare lo stantuffo. — La forza necessaria a sollevare lo stantuffo è misurata dal peso di una colonna d'aqua, avente per base la base dello stantuffo e per altezza l'altezza totale a cui l'aqua vien sollevata. Infatti, sieno S l'area della base dello stantuffo, P la pressione atmosferica, h l'altezza dell'aqua al disotto dello stantuffo in una posizione qualunque, h' l'altezza della colonna d'aqua al disopra dello stantuffo stesso; la faccia superiore dello stantuffo è premuta verso il basso della forza $P + Sh'$; la faccia inferiore è spinta verso l'alto da una forza $P - Sh$; la pressione risultante dall'alto al basso provata dallo stantuffo, quella che si deve vincere, è data dalla differenza delle due pressioni, vale a dire da $S(h + h')$, come si era detto. Alla stessa conclusione si arriverebbe anche nel caso in cui l'aqua non avesse ancor raggiunto il corpo di pompa.

221. Cause di perdita di lavoro motore nelle pompe. — Nella calcolazione precedente non si considera l'attrito dello stantuffo contro le pareti del corpo di pompa, attrito che assorbe una quantità di forza considerevole. Si aggiunga che il movimento dello stantuffo si ottiene per mezzo di diverse trasformazioni di movimento, le quali, alla lor volta, consumano una parte di forza motrice.

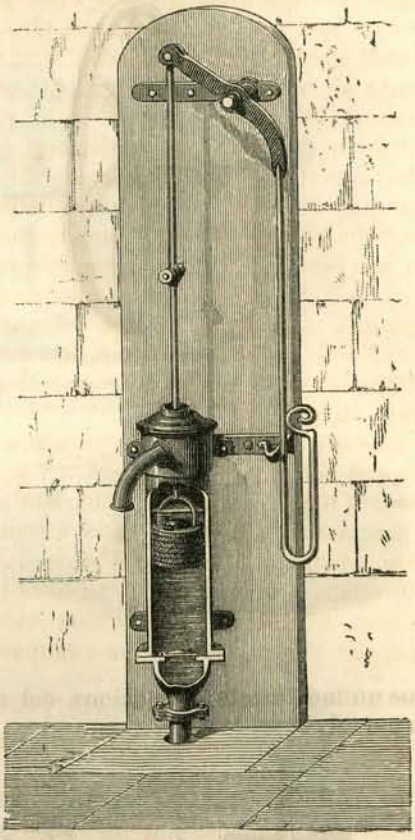


Fig. 200.

D'altra parte, l'aqua arriva al condotto di versamento con una certa velocità, alla quale corrisponde una certa quantità di forza perduta. Nelle pompe dunque, come in qualunque macchina, il lavoro speso supera di molto l'effetto utile.

Indipendentemente dalle cause di perdita di lavoro sopra citate, ve ne sono altre particolari al modo di funzionare delle pompe. Durante la fase di discesa dello stantuffo, il livello dell'aqua rimane costante e quindi lo sforzo esercitato in questo periodo non dà alcun lavoro utile (1): si cerca di togliere questo inconveniente colle pompe a doppio effetto (2). D'altra parte, il cilindro raramente è abbastanza ben lavorato da impedire qualsiasi comunicazione tra le parti al disopra e al disotto dello stantuffo; finalmente, l'aria sciolta nell'aqua, sviluppandosi in parte al momento dell'aspirazione, impedisce spesso al corpo di pompa di riempirsi. Una perdita di lavoro poi scaturisce anche dai cambiamenti bruschi di direzione e di velocità provati dall'aqua nel passare in tubi di differente diametro. Tutte queste circostanze diminuiscono di molto la quantità di aqua sollevata e rendono, qualche volta, assai basso il rendimento di queste macchine: nelle pompe

(1) Oltre a ciò, questo moto intermittente induce perdita di lavoro pel repentino incamminarsi dell'aqua al salire dello stantuffo e pel successivo annientarsi della velocità da essa assunta, quando il moto dello stantuffo si inverte.

(2) Nelle quali però non si ovvia alla perdita derivante dal moto alternato dello stantuffo e degli altri pezzi. Nelle pompe rotative riescono evitati questo e gli inconvenienti citati nella precedente nota.

NOTE DEL TRADUTTORE.

casalinghe, ad esempio, le quali sono costruite grossolanamente, questo rendimento si riduce al 20 od al 30 per cento.

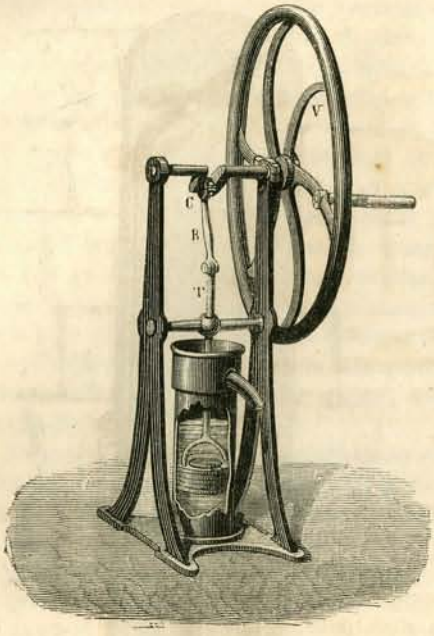


Fig. 201.

222. Movimento dello stantuffo. — Le figure 200 e 201 mostrano i mezzi ordinariamente impiegati per produrre il movimento dello stantuffo. La prima figura non ha bisogno di schiarimenti; come si vede, il moto di va e vieni dello stantuffo è ottenuto per mezzo di di una leva. La seconda figura rappresenta un meccanismo spesso usato e col quale si ottiene il moto alternativo dello stantuffo con un movimento di rotazione continuo. Perciò l'asta *T* dello stantuffo è articolata, per mezzo della biella *B*, ad una parte piegata a gomito *C* di un asse, al quale si imprime un movimento di rotazione, col mezzo di una manovella a volante *V*.

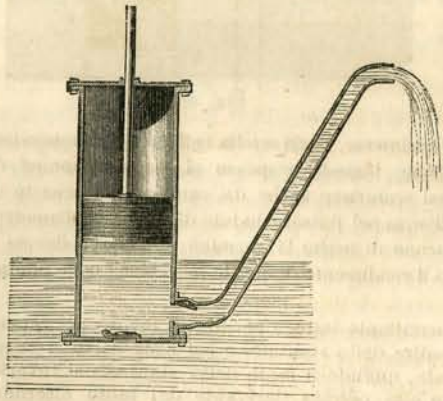


Fig. 202.

223. Pompa premente. — La pompa premente è formata da un corpo di pompa immerso nell'aqua e munito alla sua parte inferiore di una valvola aprentesi dal basso all'alto (fig. 202). Lateralmente, alla parte inferiore, si diparte un tubo munito di valvola aprentesi dall'interno all'esterno. Nel corpo di pompa si muove uno stantuffo cieco, (senza aperture), di modo che, quando esso si solleva, l'aqua si introduce nel corpo di pompa

dalla prima delle valvole citate; quando si abbassa, l'aqua raccolta, è spinta nel tubo di ascesa. Quanto più alto è questo tubo,

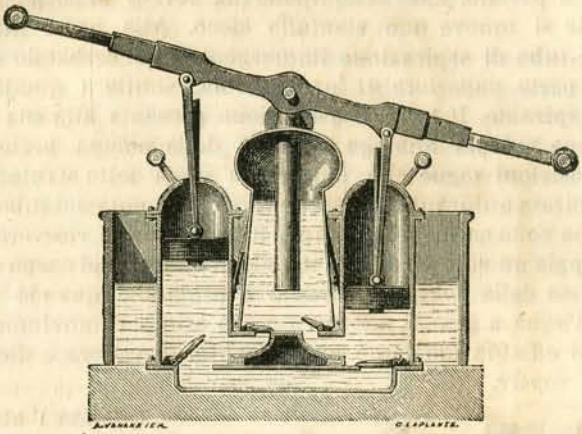


Fig. 203.

tanto maggiore deve essere la forza necessaria ad abbassare lo stantuffo, giacchè bisognerà vincere la pressione dell'aqua sollevata.

224. Pompa d'incendio. — La pompa d'incendio ordinaria (fig. 203) è formata dalla riunione di due pompe prementi, i di cui tubi laterali vengono ad aprirsi in un serbatojo contenente dell'aqua e dell'aria. Nell'aqua di questo serbatojo pesca un tubo, all'estremità superiore del quale si adatta un condotto di cuojo che rappresenta il tubo di ascensione dell'apparecchio. La pompa è collocata in un serbatojo portatile, alimentato coll'aqua direttamente portatavi con secchie, facendo la *catena* sul luogo dell'incendio.

Le aste degli stantuffi sono articolate a due punti di una leva, alla quale, a braccia d'uomo, vien impresso un movimento alternativo; cosicchè l'aqua arriva in modo continuo nel recipiente. Di più, l'aria che questo contiene equilibra colla sua forza espansiva le variazioni di velocità del liquido; il getto presenta così una grande regolarità: la pratica ha dimostrato che quest'ultima condizione è assai importante.

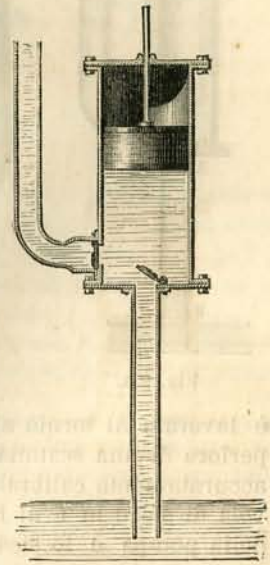


Fig. 204.

225. Pompa aspirante premente. — La pompa aspirante premente è, come lo dice il suo nome, una combinazione delle due disposizioni di cui si è parlato. Essa si compone (fig. 204) di un corpo di pompa, nel quale si muove uno stantuffo cieco. Alla parte inferiore si trova un tubo di aspirazione immergentesi nel serbatoio e munito alla sua parte superiore di una valvola, simile a quella di una pompa aspirante. Il tubo di ascensione presenta alla sua parte inferiore una valvola analoga a quella della pompa premente. Da tali disposizioni segue che, durante la salita dello stantuffo, l'aqua verrà aspirata e durante la discesa verrà poi spinta nel tubo di ascensione. Una volta caricata la pompa, il tubo laterale riceverà ad ogni corsa doppia un volume d'aqua uguale al volume del corpo di pompa.

Si fa uso della pompa aspirante e premente quando si debba elevare l'aqua a grandi altezze. Spesso allora il movimento della pompa si effettua mediante una macchina a vapore e dicesi allora *pompa a vapore.*

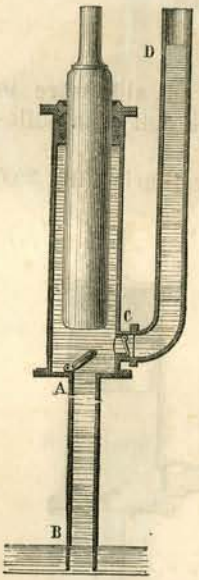


Fig. 205.

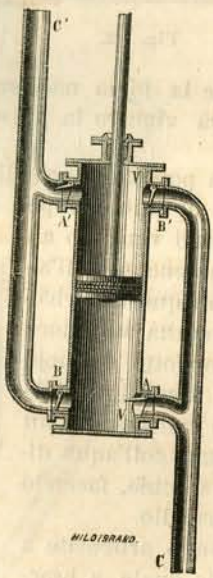


Fig. 206.

Quando l'altezza alla quale l'aqua deve essere elevata è assai considerevole, le diverse parti della pompa devono essere collegate con gran solidità, onde possano resistere all'enorme pressione derivante dalla colonna d'aqua sostenuta. In questi casi non si può far uso degli stantuffi a guarnitura di stoppa o di anelli di cuoio, si fa uso invece di uno stantuffo completamente metallico, detto *stantuffo immergente.* La figura 205 rappresenta la sezione di una macchina di questa specie.

Il corpo di pompa non è lavorato al tornio all'interno, ma è fornito alla sua parte superiore di una scattola a stoppa, nella quale scorre lo stantuffo, accuratamente calibrato. La valvola di aspirazione è in *A*, la valvola di sfogo in *C* al basso del tubo di ascensione *D*. Il giuoco della pompa è lo stesso che nella pompa sopra descritta. Man mano che la macchina progredisce nel suo ufficio, dall'aqua si

sprigiona dell'aria e questa finirebbe per nuocere all'andamento dell'apparecchio. Si dà sfogo a quest'aria aprendo di tanto in tanto la parte superiore di un condotto praticato nello spessore dello stantuffo.

Nelle miniere si deve, qualche volta, elevare l'aqua ad altezze assai rilevanti; questa elevazione non si fa però generalmente in un solo getto. Una pompa eleva l'aqua fino ad un serbatojo, nel quale è immerso il tubo di aspirazione di una seconda pompa che porta l'aqua ad un secondo serbatoio; e così di seguito. Le aste delle diverse pompe son tutte riunite ad un'asta unica detta *tirante maestro*, il quale riceve il suo moto da una macchina a vapore.

226. Pompa a doppio effetto. — Nell'economia domestica si fa uso spesso di pompe a doppio effetto, la di cui invenzione devesi a Delahire. Sono esse formate (fig. 206) da un corpo di pompa *V V*, con quattro aperture *A*, *A'*, *B*, *B'*. Le aperture *A* e *B'* comunicano col tubo di aspirazione *C*; *A'* e *B* comunicano col tubo di elevazione *C'*. Le quattro aperture sono munite di valvole aprentesi tutte nello stesso senso, vale a dire da destra verso sinistra; da tale disposizione deriva che le valvole *A* e *B'* funzionano come valvole di aspirazione e le *A'* e *B* come valvole di elevazione. Qualunque sia dunque il senso del movimento dello stantuffo, si ha sempre contemporaneamente aspirazione ed elevazione di liquido. Le pompe a doppio effetto, comode negli usi domestici pel piccolo spazio da esse occupate, sono poco usate nell'industria, per la quale, in causa della maggiore semplicità, si preferisce di accoppiare due pompe a semplice effetto, in modo che i loro stantuffi sieno riuniti ad un bilanciere, cosicchè agiscano in fase opposta.

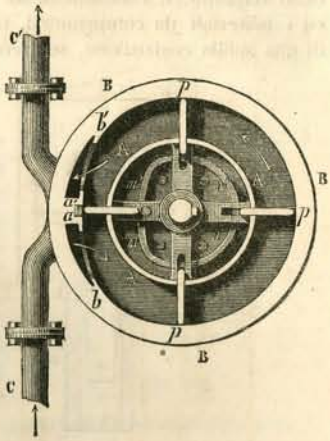


Fig. 207.

227. Pompe rotative. — La continuità nell'aspirazione si ottiene anche colle pompe rotative che, in alcuni paesi, sono assai usate; la figura 207 rappresenta il modello di Dietz.

Il corpo di pompa è formato da un tamburro cilindrico *B*, il quale contiene, tra i suoi due fondi, una scattola *A* di minor diametro e senza fondi, che può ricevere il movimento di rotazione intorno al suo asse per mezzo di una manovella; intorno a questo asse e fissato contro uno dei fondi del tamburro, si trova un eccentrico *m n*, *m'*, *n'*. La scattola *A* presenta nel suo spessore quattro intagli attraverso i quali scorrono quattro linguette *p*, costantemente in contatto, con una delle loro estremità, col contorno dell'eccentrico, cosichè sono obbligate ad ap-

poggiare l'altro estremo contro la parete interna del tamburro e contro una lamina di ferro $a\,b$, $a'\,b'$, che serve come di tramezza. Questa lamina presenta due aperture comunicanti, l'una col tubo di aspirazione C, l'altra col tubo di ascensione C'. Da queste disposizioni risulta che, se si fa girare la scattola A nel senso della freccia, dietro le palette, pel crescere della capacità, si forma il vuoto; l'aqua, viene aspirata da questa parte e cacciata dall'altra (1).

228. Torchio idraulico. — Il torchio idraulico (fig. 208) è formato da una pompa aspirante e premente $a\,a$, manovrata per mezzo di una leva mobile intorno all'asse O. L'aqua aspirata dal serbatojo $B\,B$ vien spinta nella cassa V, passando pel condotto $C\,C$. Alla parte superiore della cassa è praticata un'apertura, attraverso la quale si può muovere un grande stantuffo metallico $A\,A$, terminato alla parte superiore da un gran piatto $B\,B$, sul quale si pongono i materiali da comprimersi. Si supponga vuota la cassa V ed abbassato, pel proprio peso, lo stantuffo; messa in movimento la pompa, la cassa si riempie d'aqua e poscia la pressione esercitata dallo stantuffo della pompa si trasmette alla parte inferiore dello stantuffo A, conformemente ai principi esposti (158). Lo stantuffo A si alza ed i materiali da comprimersi, trovandosi presi tra il piatto e la parte superiore di una solida costruzione, subiscono l'azione della pressione trasmessa. La gran-

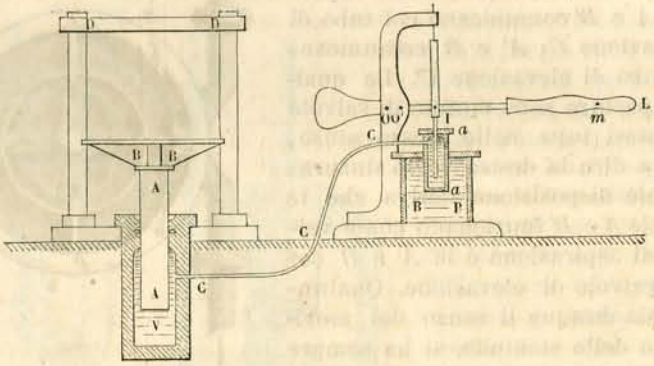


Fig. 208.

dezza della pressione dipende e dal rapporto delle sezioni degli stantuffi e dal rapporto tra i bracci della leva. Per esempio, la distanza dal punto m, dove agisce la mano, all'asse O sia 12 volte la distanza $I\,O$, e lo sforzo esercitato sia di 25 chilogrammi; lo sforzo trasmesso dallo stantuffo della pompa all'aqua sarà allora di $25 \times 12 = 300$ chilogrammi. Se, d'altra parte, la sezione dello stantuffo A è 100 volte quello dello stantuffo minore, la pressione trasmessa in A sarà $300 \times 100 = 3000^k$. Le condizioni esposte sono quelle del modello generalmente usato nelle officine. Si potrebbe d'altronde, in via eccezionale, esercitare uno sforzo superiore ai 25^k; si può anche introdurre il pezzo metallico che serve di asse alla leva, in O', così da ottenere una maggiore pressione per parte della leva (2).

(1) Si hanno anche pompe ad aspirazione continua dette *pompe centrifughe*, perchè in esse l'azione aspirante è dovuta alla forza centrifuga. Sono esenzialmente formate da una ruota a palette ricurve, girante con grande velocità in un tamburro. Il tubo di aspirazione si apre ai centri dei fondi del tamburro, il tubo di elevazione parte tangenzialmente dal contorno.

(2) Posti in generale L ed l le lunghezze dei bracci di leva, R ed r i raggi

Nella figura non sono rappresentati due organi importanti del torchio idraulico; la valvola di sicurezza, cioè, destinata ad aprirsi quando la pressione raggiunge un certo limite che non si vuol sorpassare, ed un robinetto posto nel tubo C, che serve a por fine all'azione del torchio; aperto questo robinetto l'aqua effluisce e lo stantuffo A ridiscende.

Il torchio idraulico venne ideato da Pascal, ma non si potè dapprincipio applicarlo utilmente, giacchè, appena che la pressione diveniva un po' grande, l'aqua sfuggiva tra le pareti della cassa e quelle dello stantuffo A. Devesi all'ingegnere inglese Bramah l'invenzione di un mezzo di tenuta che, non lasciando fughe al liquido, permette, di conseguenza, di utilizzare tutta la forza della macchina. Una corona di cuojo A A (209), lavorata in modo che i suoi lembi riescano piegati su se stessi, è collocata in una cavità appositamente praticata nelle pareti della cassa. Per tale disposizione, se l'aqua cerca di aprirsi il passo tra la cassa e lo stantuffo, penetra nella concavità dell'anello di cuojo e, colla sua pressione tendendo ad allontanarne i lembi, determina una chiusura tanto più ermetica, quanto più grande è la pressione.

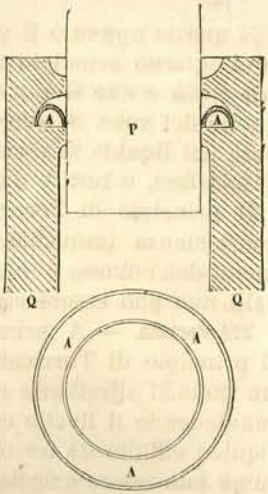


Fig. 209.

Il torchio idraulico è una tra le macchine le più usate nell'industria; ed è anche una delle più potenti: pur rimanendo nelle condizioni pratiche di costruzione, si possono con esso ottenere delle pressioni da 200 a 250 mila chilogrammi. Questo potente apparecchio può servire, sia ad operare delle trazioni considerevolissime, come si usa nella prova della resistenza dei ferri delle àncore, sia a sollevare dei carichi ingenti. Gli è appunto per mezzo del torchio idraulico che si poterono sollevare delle intiere travature del ponte tubulare dell'isola d'Anglesey, che si è potuto varare il *Great Eastern* ecc.

CAPITOLO XIV

EFFLUSSO DEI LIQUIDI.

229. Principio di Torricelli. — Se si pratica una apertura nella parete di un vaso contenente un liquido, questo ne effluisce con una velocità tanto più grande quanto più grande è l'altezza del liquido

degli stantuffi, k lo sforzo esercitato sulla leva, la pressione teorica P ricevuta dallo stantuffo maggiore è:

$$P = k \frac{L}{l} \times \frac{R^2}{r^2}$$

NOTE DEL TRADUTTORE.

al disopra del centro dell'orificio, o, come dicesi, quanto maggiore è la *carica*. Torricelli ha eseguite delle esperienze, su questa parte della meccanica dei liquidi, le quali lo hanno condotto a questo risultato che, cioè, *la velocità d'efflusso è uguale a quella che aquisterebbe un grave cadendo liberamente dalla superfice libera del liquido fino al centro dell'orificio*. Se si pone h questa distanza, la velocità d'efflusso V è dunque:

$$(a) \qquad V = \sqrt{2\,g\,h}$$

È questo appunto il principio conosciuto sotto il nome di Toricelli; questo principio ammette che l'orificio sia praticato in *parete sottile* e che il suo diametro sia assai piccolo in confronto a quello del vaso. Si suppone anche che l'orificio e la superfice libera del liquido si trovino nelle stesse condizioni, tutti e due nell'atmosfera, o tutti e due nel vuoto, per esempio.

Il principio di Torricelli vien pertanto considerato come una conseguenza immediata delle leggi di caduta dei gravi; il fenomeno dell'efflusso è infatto più complesso ed il principio di Torricelli non può essere rigorosamente dimostrato coll'esperienza.

230. Portata. — A prima giunta sembra che si possa sottoporre il principio di Torricelli ad una verificazione sperimentale, con un metodo altrettanto rigoroso quanto semplice. Si supponga che, mantenendo il livello costante in un vaso, si misuri il volume di liquido effluito da un orificio durante un certo tempo; questo volume può essere calcolato *a priori*. Infatti durante l'unità di tempo uscirà un cilindro liquido avente per base la sezione dell'orificio e per altezza la velocità d'efflusso, dimodochè, la quantità d'aqua effluita durante un tempo determinato, si otterrà moltiplicando il volume di quel cilindro pel numero di unità di tempo. Ora dall'esperienza si hanno sempre risultati inferiori a quelli dati dalla teoria. La media di questi risultati stabilisce che la portata osservata è circa 0,6 della portata teorica.

Questo disaccordo non contraddice punto alla legge di Torricelli, ma accenna bensì a qualche inesattezza nella valutazione delle quantità che entrano nella formola di calcolazione della portata. Questa inesattezza non può evidentemente dipendere che dalla valutazione della sezione del cilindro liquido; difatti coll'ammettere che le vena liquida è un cilindro di ugual sezione dell'orificio, si commette un errore. In fatto la vena non è cilindrica, essa, uscendo dall'orificio, si contrae fino ad una piccola distanza da quello, e la sezione della vena contratta la si giudica appunto 0,6 circa della sezione dell'orificio. È nella sezione contratta che si stabilisce un ugual velocità pei diversi filetti liquidi convergenti che sboccano dall'orificio, ed è appunto quella sezione che va presa per

base del cilindro liquido. A questo modo si vede scomparire il disaccordo apparente tra la teoria e l'esperienza. La giustezza del ragionamento ora fatto vien confermata dall'influenza esercitata dai *tubi d'aggiunta*. Si dà questo nome a tubi di qualche millimetro di lunghezza che si adattano all'orificio fatto in parete sottile. Se si prova per esempio un tubo d'aggiunta cilindrico, la contrazione è tolta in causa dell'adesione del liquido contro le pareti del tubo, e, tenuto calcolo di una piccola diminuzione di velocità derivante dalle resistenze che la vena prova passando pel tubo d'aggiunta stesso, si trova che la portata teorica e la effettiva si accordano.

231. Getti d'acqua. — Se all'estremità di un tubo di condotta d'acqua si adatta un tubo d'aggiunta diretto verticalmente dal basso all'alto, il liquido, in causa della sua velocità, zampillerà verticalmente. Se non vi fosse alcuna resistenza, il liquido dovrebbe innalzarsi fino all'altezza che genera la velocità all'orificio; ciò non si verifica in causa dell'attrito del liquido contro sè stesso, e del peso delle particelle di liquido cadenti, le quali distruggono parte dell'impulso. Si può attenuare quest'ultima causa tenendo il getto inclinato.

232. Efflusso di un liquido in comunicazione con una massa d'aria limitata. — Quando la superfice del liquido è in comunicazione con una massa d'aria di pressione variabile, la velocità di efflusso varia pure. Sia *A B C D* (fig. 210) un vaso chiuso contenente un liquido fino in *M N*, ed al disopra di esso si trovi dell'aria alla pressione atmosferica. Se si pratica un piccolo orificio alla parte inferiore, l'efflusso avrà luogo; ma, l'aria rarefacendosi gradatamente, verrà un momento in cui la sua pressione, aumentata della pressione corrispondente alla colonna liquida, farà equilibrio alla pressione atmosferica; in questo momento stesso cesserà l'efflusso. Questa condizione di equilibrio si riscontra in diverse esperienze.

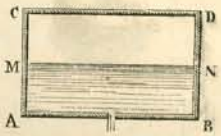


Fig. 210.

Pipetta. — È un tubo di vetro (fig. 211) aperto ai due estremi e terminato alla parte inferiore in punta affilata. Se, per immersione diretta o per aspirazione, si fa entrare una certa quantità di liquido nel tubo e se ne chiude poi col dito la bocca superiore, l'efflusso si fermerà dopo qualche istante. Se si lascia entrare l'aria alla parte superiore, l'efflusso ricomincierà e potrà quindi a piacimento essere interrotto od attivato. Sul medesimo principio si fondano *l'assaggiatore* pei liquidi, *l'imbuto magico*, la *bottiglia inesauribile*, i *calamai a sifone* ed a stantuffo, certe lampade e vai dicendo.

233. Fontana intermittente. — La fontana intermittente è un'apparecchio fondato sullo stesso principio dei precedenti; le intermit-

tenze però si ottengono automaticamente per mezzo di un'opportuna disposizione dell'apparecchio. Questo è formato da un pallone *V* (fig. 212), che si può chiudere ermeticamente per mezzo di un tappo e far comunicare a volontà con dei becchi *a*, dai quali può efflure l'aqua. Un tubo *t*, termina, ad un suo estremo, alla parte superiore del pallone, ed alla parte inferiore a poca distanza dal fondo del bacino *B;* questo presenta una piccola apertura *O*, dalla quale, l'aqua ricevuta, passa nel sottoposto bacino *C*. Messa dell'aqua nel pallone, si stabilisca la comunicazione coi becchi; l'aqua effluirà da questi nel bacino *B* e da quest'ultimo nel bacino *C*. Ma il diametro dell'apertura *O* è

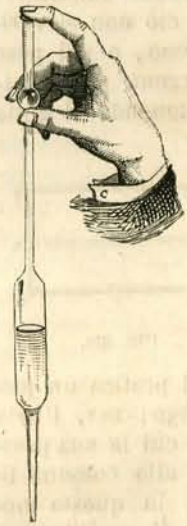


Fig. 211.

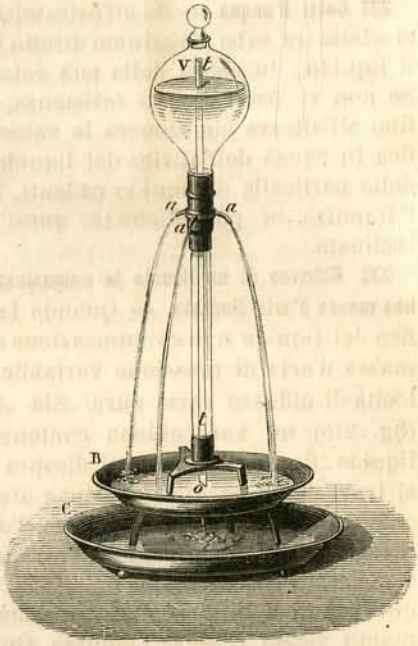


Fig. 212.

tale che la quantità d'aqua da esso uscente, è minore di quella ricevuta nello stesso tempo dai becchi: il liquido si accumulerà dunque in *B* e finirà per coprire l'estremità inferiore del tubo *T*. Da questo momento verrà soppressa la comunicazione della parte superiore del pallone coll'aria esterna, e l'efflusso cesserà dopo qualche momento.

Ma il bacino, continuando a versar aqua dall'apertura *O*, il liquido lascerà nuovamente allo scoperto la bocca inferiore del tubo; l'aria allora entrerà nel pallone, l'efflusso ricomincerà, per arrestarsi di nuovo, e così di seguito.

234. Sifone. — Il sifone ha per iscopo il travasamento dei liquidi. Egli è esenzialmente costituito da un tubo curvato a rami disu-

Fig. 213.

guali (fig. 213). Il piccolo ramo pesca nel liquido da travasare, l'altro è aperto all'aria. Supposto il sifone *carico,* vale a dire pieno di liquido, è facile di capire come il liquido, venendo dal ramo minore effluirà dal maggiore. Si consideri infatti (fig. 214) uno strato M di liquido, situato alla parte più alta del sifone; questo strato risentirà, da sinistra a destra, una pressione uguale alla pressione atmosferica diminuita della pressione misurata dall' altezza DC od MI. Posta quest' ultima h, ed H la pressione esterna, espressa in altezza del liquido che riempie il sifone, la pressione da sinistra a destra sarà H-h, e la pressione da destra a sinistra H-EF = H-h'. Siccome h' è maggiore di h, così la prima pressione supera la seconda; lo strato M si muoverà dunque da sinistra a destra. Se il ramo minore del sifone ha una altezza inferiore ad H, la

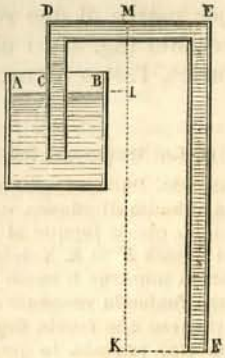


Fig. 214.

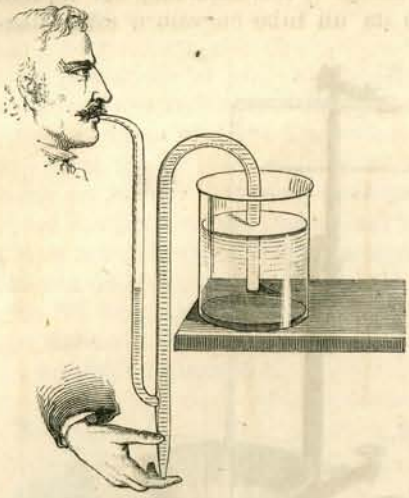


Fig. 215.

colonna liquida non si frazionerà, giacchè, in tal caso, la pressione atmosferica farebbe immediatamente riempiere dal liquido il vuoto che si fosse formato; l'efflusso avrà dunque luogo in modo continuo, fino a che il liquido, nel vaso AB, sia sceso al disotto dell'estremità del ramo minore del sifone.

La forza producente l'efflusso è dunque misurata dalla colonna liquida di altezza h'-h. La velocità d'efflusso sarà pertanto $v = \sqrt{2g\,(h' - h)}$, trascurando le resistenze (1).

235. Caricamento del sifone. — Onde il sifone possa funzionare, è necessario che esso venga dapprima caricato. Questo caricamento si fa in diversi modi. Quando il liquido possa essere introdotto in bocca senza danno, si agisce per aspirazione (fig. 215) attraverso ad un tubo laterale saldato al ramo più lungo.

Questo processo, usato nell'economia domestica, non potrebbe servire nel caso di liquidi che possono avere un'azione deleteria o sieno disgustosi. Ecco, per esempio, come si fa il caricamento nel caso dell'acido solforico:

Il ramo lungo vien preventivamente riempito di acido solforico per mezzo di due robinetti ad imbuto posti sulla curva dell'apparecchio (fig. 216): uno di essi serve all'introduzione dell'acido solforico, l'altro all'uscita dell'aria. Si chiudono allora i robinetti su-

(1) Col travasarsi del liquido, h va crescendo e, di conseguenza, $h' - h$ diminuendo. Dalla suesposta relazione $v = \sqrt{2\,g.\,(h' - h)}$ risulta chiaro allora che la velocità di eflusso, e quindi la portata, andranno pure diminuendo mano mano che il liquido si travasa, ed anzi, l'efflusso cesserebbe anche, quando si avesse $h' = h$. Volendo ottenere col sifone una velocità d'efflusso costante, basta munirne il ramo minore di un galleggiante, sospenderlo all'estremo di una funicella passante su due carrucole e portante all'altro estremo un contrappeso che faccia equilibrio al peso dell'apparecchio, diminuito della spinta da esso provata. In questo modo, abbassandosi il sifone di pari passo col liquido, la differenza $h' - h$ rimane costante.

NOTA DEL TRADUTTORE.

periori e, aprendo il robinetto inferiore, si lascia effluire il liquido. L'aria che occupa il piccolo ramo, immerso nell'acido solforico, si rarefa, l'acido sale e quando questo arriva a passare la curvatura, il sifone sarà caricato.

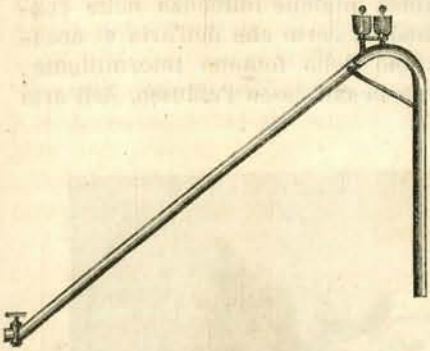


Fig. 216.

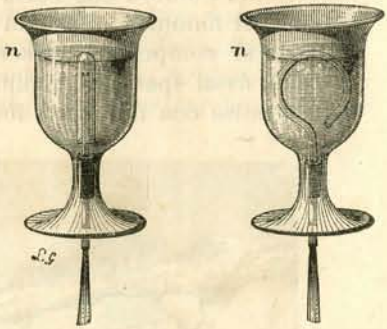


Fig. 217.

236. Vaso di Tantalo. — Per mezzo del sifone si può produrre un'efflusso intermittente. In un vaso si trova un tubo ricurvo elevantesi sino in *n* (fig. 217), di cui il piccolo ramo termina al fondo del vaso, mentre il ramo lungo ne traversa il fondo. Se si fa arrivare di continuo un liquido nel vaso, il livello si eleverà gradualmente nel tubo ricurvo e finirà per sorpassare il punto *n*; ma allora il sifone, essendo caricato, darà uscita al liquido contenuto nel vaso, e, supposto che il sifone lasci effluire maggior quantità di liquido di quella che arriva nel medesimo tempo, il vaso si vuoterà; poscia si riempirà di nuovo per tornarsi a vuotare e così di seguito.

Se il vaso è di metallo ed il sifone è nascosto nello spessore della parete, inclinando il vaso dalla parte della curva del sifone per portarlo alla bocca, questo si caricherà ed il liquido sfuggirà: da quì il nome di vaso di Tantalo attribuito a questo apparecchio negli antichi trattati di fisica. In luogo di un tubo ricurvo si può far uso, come lo mostra la prima figura, di un tubo dritto ricoperto da una campanella: il sifone è, in questo caso, costituito dallo spazio anulare compreso tra il tubo e la campanella.

È con una simile disposizione che si cerca di spiegare l'intermittenza di certe sorgenti naturali. Si immagini che un serbatojo (fig. 218) comunichi coll'esterno per mezzo di un tubo formante sifone, e sia alimentato da un filo d'aqua di portata inferiore a quella del sifone. Quando l'aqua avrà raggiunta la curvatura, il sifone si caricherà ed il serbatoio si vuoterà, per riempirsi di nuovo fino alla curvatura; e così di seguito. Si osservi che, onde possa

prodursi l'intermittenza, l'aqua deve arrivare con una certa forza alla curvatura, la quale d'altronde non deve avere una sezione troppo grande; senza tali condizioni l'aqua si riverserebbe direttamente, il tubo non si riempirebbe ed il sifone non potrebbe quindi funzionare. Sembra che l'aria abbia qualche influenza nelle condizioni del fenomeno. In ogni modo è certo che dell'aria si accumula e si comprime nel serbatoio della fontana intermittente, giacchè, assai spesso, al momento in cui cessa l'efflusso, dell'aria vien espulsa con una certa forza.

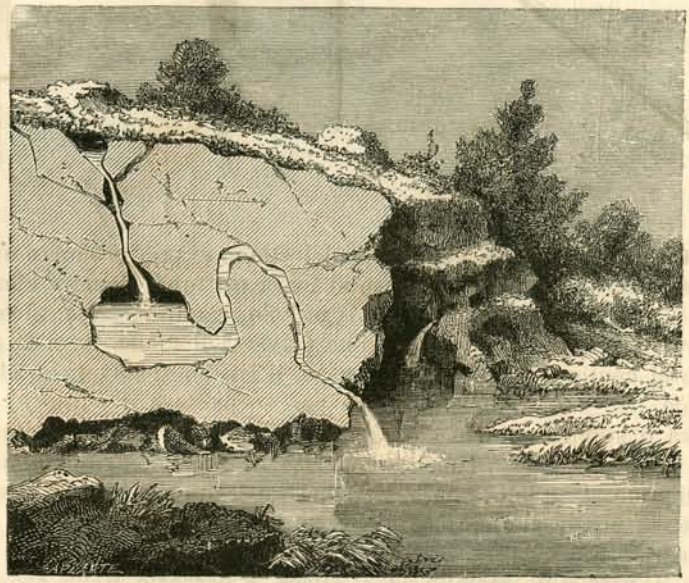


Fig. 218.

237. Bottiglia Mariotte. — La bottiglia di Mariotte è spesso usata per ottenere un efflusso costante. Si compone essa di una bottiglia, il di cui tappo è attraversato da un tubo dritto, aperto ai due capi: Verso la parte inferiore della bottiglia è praticato un orificio *b* (fig. 219). Si supponga piena d'aqua la bottiglia ed il tubo e si apra l'orificio *b;* le molecole poste dinanzi a questo, subiscono dall'esterno all'interno una pressione uguale alla pressione atmosferica, e, dall'interno all'esterno, sono spinte con una pressione che supera l'atmosferica della pressione misurata dall'altezza d'aqua compresa tra l'orificio e l'estremo superiore del tubo. Si produrrà dunque efflusso, ma non si formerà alcun vuoto alla parte superiore della bottiglia, giacchè la pressione atmosferica obbligherà

il liquido del tubo a rimpiazzare quello che effluisce. Il livello scenderà rapidamente nel tubo e la velocità decrescerà pure rapidamente, come lo mostrerà la diminuzione d'ampiezza del getto. Arrivato il liquido al punto *a*, l'efflusso continuerà; ma allora dell'aria entrerà bolla a bolla dal tubo per portarsi alla parte superiore della bottiglia, in modo da assumervi sempre una pressione tale, che, aumentata della pressione dovuta all'altezza dell'aqua al disopra dello strato orizzontale passante per *a*, su questo strato, la pressione totale sia sempre uguale alla pressione atmosferica.

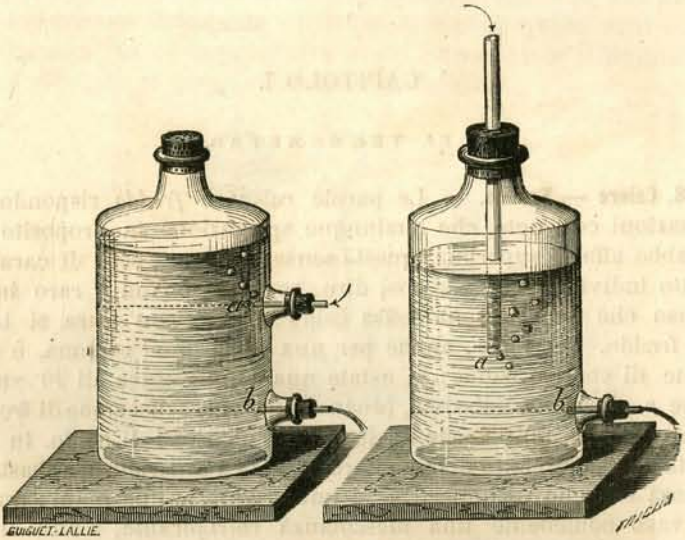


Fig. 210.

Da questo momento l'efflusso accadrà con velocità costante, dovuta ad una carica misurata dalla distanza verticale dei punti *a* e *b*.

Invece del tubo si può far uso di un vaso munito di due aperture a diversa altezza; il liquido effluisce dall'orificio inferiore *b* mentre l'aria entra dall'orificio superiore *a*. La bottiglia di Mariotte serve qualche volta nei laboratori a produrre l'efflusso costante di un gas; basta perciò di usare dall'aqua effluente dalla bottiglia per espellere il gas (1).

(1) Da quanto è detto sopra è chiaro che, se l'estremo *a* del tubo si ponesse pel piano orizzontale passante per *b*, le pressioni all'orificio dall'esterno all'interno e dall'interno all'esterno, sarebbero ambidue uguali alla pressione atmosferica e, una volta abbassato il livello nel tubo fino al piano orizzontale passante per *b*, non avrebbe più luogo l'efflusso.

NOTA DEL TRADUTTORE.

LIBRO II.

CALORE.

CAPITOLO I.

DEL TERMOMETRO.

238. Calore — Freddo. — Le parole *calore* e *freddo* rispondono a sensazioni così note, che qualunque spiegazione in proposito riescirebbe affatto superflua; queste sensazioni sono però di carattere affatto individuale e, per così dire, soggettivo. Non è raro infatti il caso che una persona soffra caldo laddove un' altra si lagna del freddo. Del resto, anche per una medesima persona, è questione di comparazione: in estate una temperatura di 10° succedente a giornate caldissime, produce una viva sensazione di freddo; mentre invece all'inverno dà luogo a sensazione di caldo. In proposito allo stesso fatto puossi citare un'antica esperienza, abbastanza curiosa sebbene semplice. Se si immergono le due mani, una in un vaso contenente una mescolanza refrigerante, l' altra in un altro con acqua a 50° circa e se, dopo aver lasciate per qualche tempo le mani nei due vasi, le si mettono simultaneamente in aqua a 20°, si prova per ciascuna di esse una diversa sensazione: la mano che esce dal miscuglio refrigerante prova una impressione di caldo, quella che esce dall'acqua a 50°, sente freddo, eppure esse si trovano nello stesso ambiente.

Ciò mostra ad evidenza come le sensazioni di caldo e di freddo sieno comparative ed individuali; esse non potrebbero dunque servire di guida nello studio dei fenomeni calorifici ed è perciò che i fisici hanno imaginato il termometro.

Ma non è però inutile di osservare in proposito, che appunto in causa dell' *impersonabilità*, se così fosse permesso il dire, del termometro, questo istrumento non può dare che un' idea poca fedele ed inesatta della sensazione, e bisogna quindi tener conto, sotto punti di vista diversi da quello puramente fisico, di tutti gli elementi che entrano a comporre la sensazione stessa.

239. Temperatura. — Se si pongono in presenza l'un l'altro diversi corpi disugualmente caldi, accade fra loro una specie di scambio, pel quale essi subiscono modificazioni inverse; i più caldi si raffreddano, mentre i più freddi si scaldano; dopo un certo tempo, più o meno lungo, questi fenomeni inversi cessano, ed allora i corpi si costituiscono in uno stato di mutuo equilibrio: si dice allora che essi sono ad una stessa *temperatura*. Se a partire da questo momento si fa agire su di essi una causa di riscaldamento, si dice che la loro *temperatura aumenta*; se si abbandonano a sè stessi in un mezzo meno caldo di loro, si raffreddano e si dice che la loro *temperatura diminuisce*. A partire da uno di questi stati determinati, dire che la temperatura di un corpo cresce o diminuisce, vale il dire che il corpo si scalda o si raffredda.

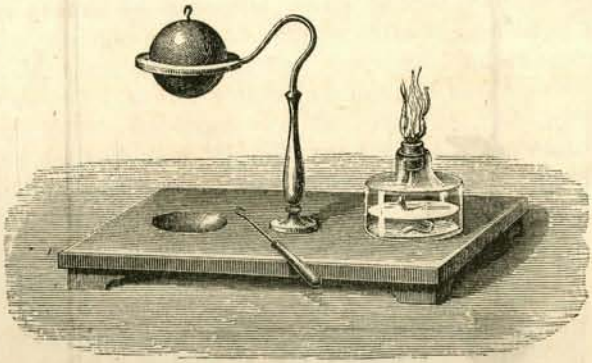


Fig. 220.

240. Dilatabilità. — Contemporaneamente ai cambiamenti di temperatura di cui si è ora parlato, e che a rigore potrebbero essere constatati da impressioni diverse sui nostri organi, si producono nei corpi modificazioni di natura più precisa, suscettibili di essere apprezziate od anche misurate, e tali da poter servire al fisico di mezzo onde rendersi esattamente conto delle variazioni della temperatura. Queste modificazioni sono di natura assai diversa, come lo si vedrà in seguito, ma fra esse ve n'è una altrettanto generale quanto importante e che serve quasi esclusivamente di base allo studio dei fenomeni calorifici; è la variazione di volume. In generale, quando un corpo si scalda aumenta di volume; diminuisce invece di volume quando si raffredda. La dilatabilità dei corpi col calore è una proprietà generale e si può dimostrare colle seguenti esperienze:

1. *Corpi solidi.* — Si fa uso di un anello attraverso al quale passi senz'agio una sfera di metallo (fig. 220); se si scalda questa

sfera con una lampada ad alcool, essa non passa più attraverso all'anello; il suo volume è dunque aumentato; se la si raffredda immergendola nell' acqua, ripiglia il volume iniziale e passa di nuovo dall' anello; se la sfera, essendo calda, si fosse scaldato l'anello press'a poco allo stesso grado, la sfera sarebbe pure passata dall'anello; se, finalmente, si scalda ad un tempo l'anello e la sfera essi conservano sempre lo stesso rapporto nelle loro dimensioni. Questo piccolo apparecchio porta il nome di *anello di 'S. Grasande.*

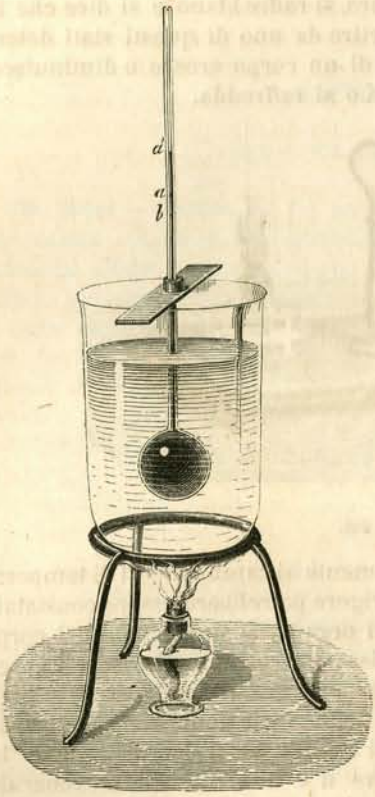


Fig. 221.

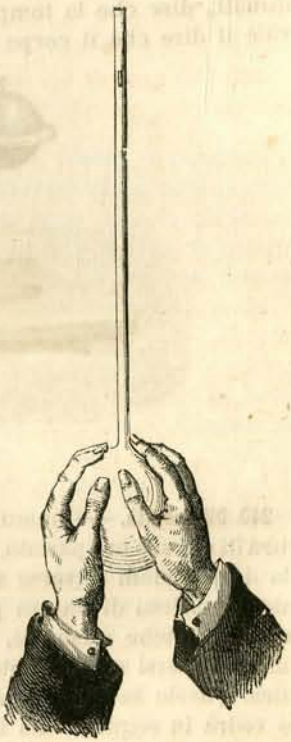


Fig. 222.

2. *Liquidi.* — Si introduce dell'acqua, per esempio, nell'apparecchio mostrato dalla figura 221, in modo che il liquido riempia la bolla e parte del tubo fino in *a*, s'immerge allora l' istrumento in un vaso contenente dell' acqua calda; al primo momento l'estremità della colonna liquida discende in *b*, ma poi risale in *a* e

quindi fino a un punto *a'* più o meno elevato al disopra di *a*. Questo doppio fenomeno si spiega facilmente: il vaso, scaldandosi pel primo, aumenta di volume prima ancora che la temperatura del liquido abbia potuto cambiare sensibilmente, questo dunque non può più riempire l'apparecchio fino al punto iniziale, quindi la colonna liquida deve discendere: ma il liquido si dilata a sua volta e, di conseguenza, giacchè sorpassa la posizione iniziale, se ne deve concludere che, non solamente si dilata, ma si dilata più del vaso che lo contiene.

3. *Gas.* — Il pallone (fig. 222) contiene dell'aria, separata dall'aria esterna con un piccolo indice liquido: basta in questo caso scaldare il pallone colle mani, perchè l'indice sia vivamente spinto in alto; ciò mostra che i gas sono assai dilatabili.

241. Idea generale del termometro. — Da quanto ora si è dimostrato risulta che, quando un corpo subisce delle variazioni di temperatura, subisce pure delle variazioni corrispondenti di volume. Se s'immagina che i diversi volumi pei quali il corpo passa possano essere facilmente riscontrati, si potrà qualificare la temperatura per mezzo dei volumi e, dicendo che il corpo ha un certo volume determinato, s'indicherà anche in modo preciso la temperatura alla quale esso si trova.

Questo corpo non accuserà solamente la propria temperatura, ma benanche quella dei corpi in mezzo ai quali esso si trova e che sono in equilibrio con lui, vale a dire, che non provano i cambiamenti inversi di cui si è parlato al § 239. Questa è l'idea più generale del termometro, il quale può definirsi: *un corpo il quale, sotto l'azione del calore, prova delle variazioni di volume che si possono constatare e misurare.*

242. Scelta della sostanza termometrica. — Una sostanza qualunque può servire di sostanza termometrica, ed infatti esistono differenti generi di termometri fondati sulla dilatazione di questa o di quella sostanza. Ciononpertertanto, onde le indicazioni termometriche siano comparabili fra loro, ed il significato sia costante, rispetto alle cause di calore, i fisici hanno adottato un istrumento tipo, al quale si riferiscono le indicazioni di tutti gli altri; è questo il *termometro a mercurio.*

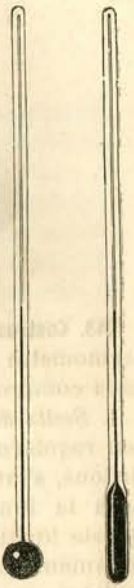


Fig. 223.

Esso è esenzialmente formato (fig. 223) di un tubo di diametro assai piccolo, terminato da un serbatoio sferico, cilindrico o di qualsiasi alta forma; il serbatoio e parte del tubo sono riempiti di mercurio. Se

la temperatura cambia, il livello del liquido si alzerà o si abbasserà nel tubo, fermandosi in punti facili a riconoscersi per mezzo di una graduazione e corrispondenti a temperature determinate.

La scelta del mercurio come sostanza termometrica presenta diversi vantaggi: è un liquido che si può avere facilmente allo stato di purezza; è buon conduttore del calore, e quindi si pone prontamente in equilibrio di temperatura coi corpi coi quali è in contatto; di più la sua capacità calorifica è molto debole, dimodochè, se lo si mette in contatto, per esempio, con un corpo caldo a spese del quale si scalda, questo prova un cambiamento di temperatura assai piccolo e generalmente trascurabile.

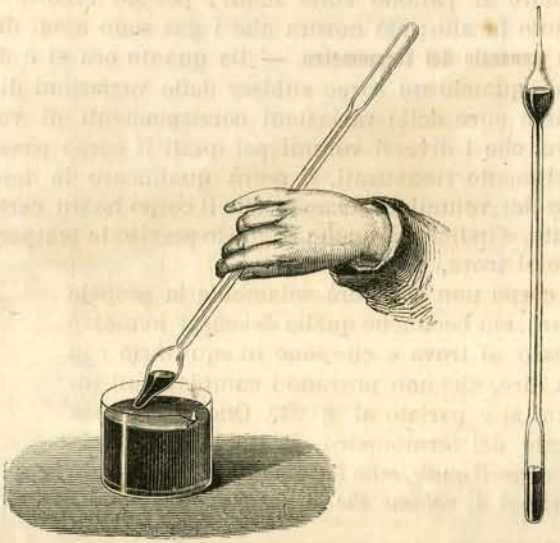


Fig. 221.

243. Costruzione del termometro a mercurio. — La costruzione di un termometro a mercurio è un'operazione molto delicata e minuziosa, essa comprende diverse parti:

1. *Scelta del tubo:* — Prima di tutto si deve scegliere un tubo il più regolarmente cilindrico possibile. Per constatare questa condidizione, s'introduce nel tubo una colonnetta di mercurio e si misura la lunghezza da essa presentata in diverse posizioni; se queste lunghezze fossero uguali, vorrebbe dire che il tubo è perfettamente cilindrico: ciò non accade generalmente e basta un risultato approssimato; si devono però rifiutare i tubi nei quali si osservassero differenze troppo notevoli nelle lunghezze della colonnetta. Quando si è trovato un tubo conveniente, si salda o, meglio, si soffia un serbatoio ad una delle sue estremità.

Se si tratta di un termometro di precisione, si *calibra* il tubo, vale a dire lo si divide con processi speciali in parti di uguale capacità.

2. *Introduzione del mercurio:* — All'estremità superiore del tubo si soffia una bolla terminata in punta affilata; si scalda leggermente la bolla e se ne immerge la punta in un vaso contenente del mercurio, (fig. 224). L'aria raffreddandosi diminuisce di volume e di pressione, dimodochè, in causa della pressione atmosferica, una certa quantità di mercurio entra nella bolla. Si chiude allora l'estremità della punta per difendersi dai vapori di mercurio, e si scalda il serbatoio ed il tubo, ancora vuoti, sopra una griglia a carbone od a gas, fino ad una temperatura abbastanza alta (fig. 225). Si scalda in seguito il liquido della bolla e poscia si raddrizza l'istru-

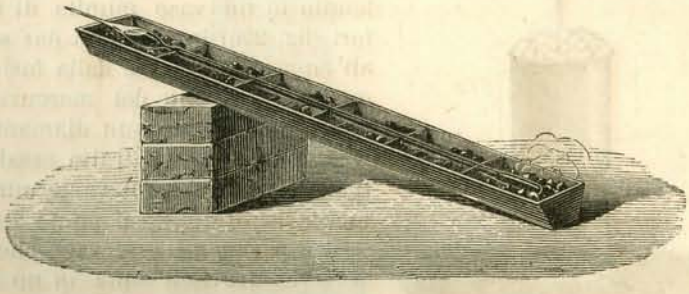


Fig. 225.

mento, cosicchè il mercurio s'introduce parzialmente nel serbatoio. Si scalda il mercurio contenuto nel serbatoio fino all'ebollizione, l'aria vien così scacciata nell'ampolla ed allora raddrizzando di nuovo l'istrumento, il mercurio raffredandosi s'introduce nel serbatoio e lo riempie completamente. Se, ciononostante, come accade spesso, rimanesse qualche bolla d'aria, la si espellerebbe ripetendo una o più volte l'operazione stessa. Si regola allora la quantità di mercurio che si deve lasciare nell'istrumento a seconda delle temperature particolari che questo deve indicare. Dopo aver staccata la bolla ed affilato il tubo, questo vien chiuso alla lampada nel momento in cui il mercurio arriva all'estremità del tubo, in modo che non vi rimanga dell'aria. Questa precauzione è importante giacchè, l'aria che rimanesse chiusa nell'apparecchio, potrebbe frazionare la colonna di mercurio e non si potrebbe più servirsi del termometro.

244. Determinazione dei punti fissi. — L'istrumento così preparato e munito di una graduazione sul suo tubo, accuserebbe bensì le variazioni di temperatura ma le sue indicazioni sarebbero affatto arbitrarie e non avrebbero alcun rapporto con quelle degli altri termometri.

Per avere delle indicazioni comparabili si ricorre a due temperature fisse, facili a riprodursi ed a mantenersi durante un tempo abbastanza lungo, e si conviene di fissar loro dei numeri determinati. Queste due temperature sono quella del ghiaccio fondentesi e quella del vapor d'acqua bollente. Si è osservato che immergendo un termometro nel ghiaccio fondente, qualunque siano le circostanze in cui l'esperienza ha luogo, il mercurio si ferma invariabilmente allo stesso punto e vi rimane fino a quando dura la fusione. È questa dunque una temperatura fissa, e si è convenuto di ritenerla *zero*.

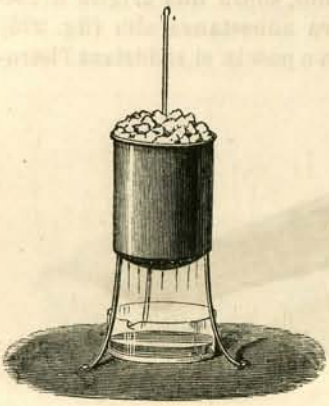


Fig. 226.

Per segnare il punto 0 in un termometro, s'immerge questo nel ghiaccio fondentesi; questo ghiaccio è contenuto in un vaso munito di tanti fori (fig. 226) in modo da dar sfogo all'aqua proveniente dalla fusione; quando il livello del mercurio si mantiene fisso, con un diamante si traccia sul tubo un tratto assai sottile nella posizione dove termina il mercurio; è questo il punto *zero*.

Si è parimenti osservato che, se si fa bollire dell'aqua in un vaso metallico aperto, sotto la pressione di 760 millimetri e s'immerge il termometro nel vapore producentesi, il mercurio si mantiene allo stesso punto per tutto il tempo per cui dura l'ebollizione, purchè però la pressione esterna non cambi. Questa seconda temperatura fissa dicesi 100 *gradi*.

Per segnare questo secondo punto sul termometro si fa uso dell'apparecchio ideato da Gay-Lussac e perfezionato da Regnault Consiste esso in una caldaia di rame (fig. 227) contenente dell'aqua che si porta all'ebollizione mediante un sottoposto fornello. Il vapore circola in una doppia parete ed esce da un tubo posto alla parte inferiore dell'apparecchio. Il termometro vien collocato nella camera interna, e quando il mercurio si è reso stazionario si segna un tratto al punto dove arriva; è questa la temperatura di 100°. Non resta più che a dividere l'intervallo tra 0 e 100 in 100 parti eguali ed a prolungare la divisione oltre i due punti fissi. Al disotto di 0 si pongono i numeri 1, 2, 3, ecc. Queste temperature si esprimono ordinariamente col segno —. Così la temperatura di 17.° al disotto di 0 si scrive — 17.° Un piccolo tubo manometrico serve a mostrare, coll'eguaglianza di livello del liquido ne' suoi due rami, che l'ebollizione ha luogo ad una pressione uguale

all'esterna e quindi che lo sfogo dato al vapore è sufficiente. Accade spesso che la pressione non è di 760 millimetri; in questi casi il punto 100 deve essere posto un po' al disotto o al disopra del punto ove il mercurio si ferma, a seconda che la pressione

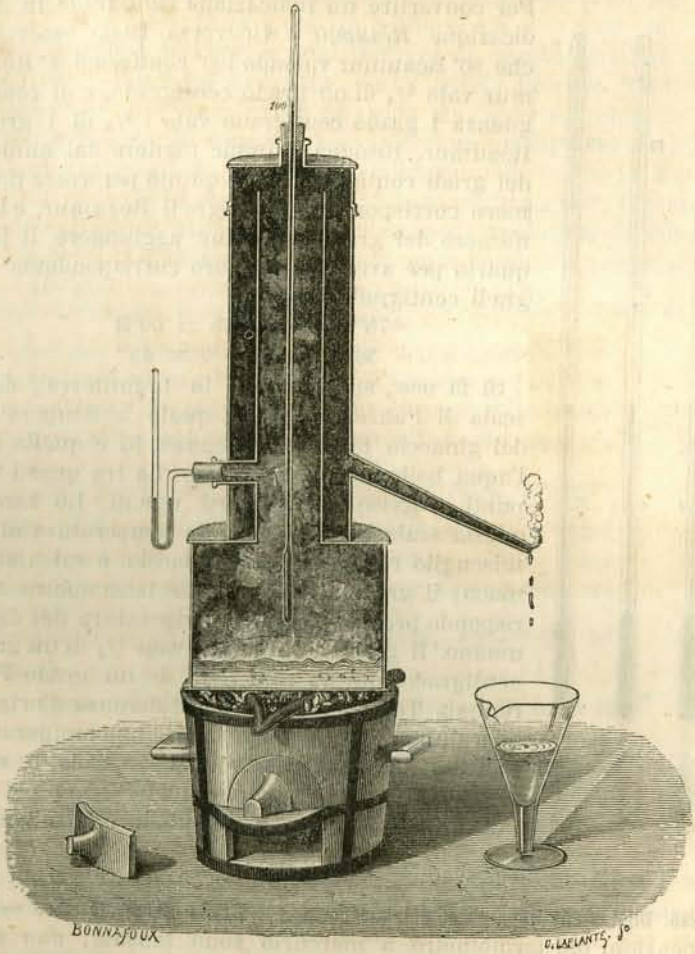


Fig. 227.

è maggiore o minore della pressione normale. Quando la differenza è un po' grande, sia in un senso, sia nell'altro, si calcola la posizione del punto 100 dietro il principio che una differenza di pressione di 26 mill., 6 in più o in meno, rispetto alla pressione normale, dà luogo alla differenza di 1.° nella temperatura dell'ebollizione dell'aqua.

245. Scale termometriche. — La divisione in 100 parti eguali dell'intervallo compreso fra i punti fissi, costituisce la scala *centigrada*. Nella scala *Réaumur* lo 0° corrisponde ancora alla fusione del ghiaccio, ma la temperatura dell'aqua bollente è segnata 80° (fig. 228).

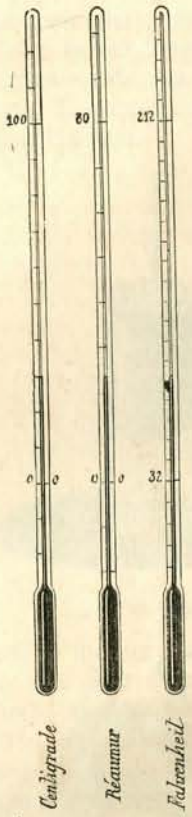


Fig. 228.

Per convertire un' indicazione centigrada in indicazione *Réaumur* e viceversa, basta osservare che 80° Réaumur valendo 100° centigradi, 1° Réaumur vale $^5/_4$ di un grado centigrado, e di conseguenza 1 grado centigrado vale i $^4/_5$ di 1 grado Réaumur. Bisogna dunque togliere dal numero dei gradi centigradi il loro quinto per avere il numero corrispondente dei gradi Réaumur, ed al numero dei gradi Réaumur aggiungere il loro quarto per avere il numero corrispondente dei gradi centigradi. Così:

$$75^{\circ c} = 75 - 15 = 60^{\circ}R$$
$$36^{\circ}R = 36 + 9 = 45^{\circ c}$$

Si fa uso, specialmente in Inghilterra, della scala di Fahrenheit, nella quale la temperatura del ghiaccio fondente è segnata 32 e quella dell'aqua bollente 212, e l'intervallo tra questi due punti è diviso in 180 parti uguali. Lo zero di questa scala corrisponde alla temperatura di un miscuglio refrigerante di ghiaccio e sal ammoniaco; il grado 100 di questo termometro corrisponde press'a poco alla temperatura del corpo umano. Il grado Fahrenheit vale $^5/_9$ di un grado centigrado, questo vale i $^9/_5$ di un grado Fahrenheit. Tenuto conto della differenza d'origine, sarà dunque facile di convertire una temperatura Fahrenheit in temperatura centigrada o viceversa. Così, per esempio, 100° F sono 68° sopra lo zero centigrado e quindi equivalgono a

$$68 \times \frac{5}{9} = 37^{\circ}c, 8 \text{ (1)}.$$

246. Dilatazione apparente del mercurio. — Grado termometrico. — Le indicazioni del termometro a mercurio sono fondate, non sulla effettiva dilatazione del mercurio, ma sulla sua dilatazione *appa-*

(1) Per convertire le temperature centigrade in Fahrenheit, e viceversa, si può quindi far uso delle seguenti formole:

$$t^{\circ} c = (t^{\circ} F - 32) \times \frac{5}{9},$$

$$t^{\circ} F = t^{\circ} c \times \frac{9}{5} + 32.$$

NOTA DEL TRADUTTORE.

rente, vale a dire sulla differenza tra la propria dilatazione e quella del vetro. È utile di conoscere il valore di questa dilatazione apparente per formarsi un'idea esatta del grado termometrico. A tale scopo, si supponga di avere un tubo termometrico (fig. 229) diviso in parti di eguale capacità, e che si sia, con una opportuna determinazione, stabilito a qual numero di queste divisioni corrisponde il volume del serbatojo; sia N questo numero. S'introduce del mercurio nell'apparecchio, che vien poi posto nel ghiaccio fondente; si trova, per esempio, che la colonna liquida arriva alla divisione n; il numero di divisioni occupate dal mercurio a zero è dunque $N + n$. Si porti in seguito l'apparecchio a 100°, il mercurio sale e raggiunge la divisione n', l'aumento apparente di volume è dunque di $n' - n$ divisioni e di conseguenza l'aumento proporzionale relativo all'unità di volume è $\frac{n' - n}{N + n}$. La centesima parte di questa quantità corrisponde al grado termometrico. Eseguendo l'esperienza si trovano dei numeri i quali variano secondo la qualità del vetro impiegato, ma che non si allontanano molto, in generale, dal numero $\frac{1}{6480}$. Si capisce che, se a partire dallo zero, si osserva, sia al disopra sia al disotto di questo punto, la variazione di volume del mercurio nel vetro, senza tener conto della dilatazione di questo, ogni variazione corrispondente ad $\frac{1}{6480}$ del volume a zero, equivarrà ad un grado del termometro.

Fig. 229.

247. Comparabilità dei termometri a mercurio. — Il fatto di cui ora si è detto permette di esaminare l'importante questione della comparabilità dei termometri fra di loro, vale a dire, di sapere se i diversi termometri, posti nelle medesime condizioni, segnano la stessa temperatura. La comparabilità sarebbe verificata nel caso in cui il vetro impiegato alla loro costruzione fosse sempre assolutamente identico, fornisse, per esempio, sempre una dilatazione apparente di $\frac{1}{6480}$ per grado. In fatti, dire che un termometro segna 7 gradi, vuol dire che il mercurio si è aumentato di 7 volte la 6480ª parte del suo volume a zero; ciò si verificherà evidentemente per tutti i termometri posti in eguali condizioni i quali, per conseguenza, segneranno tutti 7 gradi. La concordanza sarebbe ancora rigorosa quand'anche le dilatazioni apparenti di vetri adoperati non fossero eguali, purchè però queste dilatazioni conservassero lo stesso rapporto alle diverse temperature; questa condizione

non si verifica, giacchè i diversi vetri hanno ciascuno un modo speciale di dilatarsi. Si può dunque prevedere che le indicazioni dei termometri costruiti con diverse qualità di vetro non potranno andare perfettamente d'accordo. La sola esperienza può far conoscere se questo disaccordo ha luogo e in quale misura accade. Dai lavori di Regnault su questo soggetto, risulta che il disaccordo è quasi nullo o meglio trascurabile fino a 300°; al disopra di questa temperatura si osserva una piccola differenza la quale si può elevare, al massimo, a 3° o 4° verso 350°, vale a dire verso il limite dell'impiego del termometro a mercurio.

Per quanto sia debole, questo difetto di comparabilità dei termometri va attribuito alla irregolarità di dilatazione dell'inviluppo. L'influenza di queste irregolarità sarebbe naturalmente meno sensibile con una sostanza più dilatabile del mercurio; è appunto per ciò che nelle esperienze di grande precisione si fa uso dei termometri ad aria, i quali possono d'altronde servire fino alle più elevate temperature, mentre il termometro a mercurio non può essere impiegato al disopra dei 350°, temperatura di ebollizione di questo liquido.

248. Spostamento dello zero. — Un termometro, dopo la sua costruzione, prova gradualmente una particolare alterazione, la quale si manifesta colla successiva elevazione dello zero. Questo fenomeno è dovuto ad un lavoro molecolare interno del vetro che, nella costruzione dell'apparecchio, ha subìto una specie di tempera. Questo lavoro cessa dopo un certo lasso di tempo, quindici o diciotto mesi, e non dà del resto che un debole spostamento; non raggiunge un grado. Ciò non ostante, nelle esperienze precise è conveniente di verificare la posizione dello zero e di tenerne conto nella valutazione delle temperature.

249. Sensibilità del termometro. — La sensibilità del termometro dipende dal rapporto del volume del serbatojo al diametro del tubo; più questo volume è grande, a parità di sezione del tubo, più grande sarà la lunghezza del grado. D'altra parte, quando si tratti di osservare la temperatura di un mezzo, come l'aria, dove quella varia più o meno rapidamente, è necessario che il termometro sia *pronto*, vale a dire che si ponga rapidamente in equilibrio di temperatura col mezzo; a ciò è necessario un serbatojo di piccola capacità. Perchè dunque un termometro sia insieme pronto e sensibile, dovrà avere la bolla piccola ed il tubo assai sottile.

Quando si voglia al contrario misurare la temperatura di una massa liquida, per esempio, nella quale la temperatura si mantenga press'a poco costante, si potrà utilmente impiegare un termometro a grosso serbatojo. Si osservi anche che il termometro, mettendosi in equilibrio di temperatura coi corpi con una varia-

zione inversa e corrispondente nella temperatura di questi, bisognerà, quando la massa del corpo da studiarsi è piccola, che il termometro sia esso stesso assai piccolo, onde non sia causa di far variare in modo sensibile la temperatura da misurarsi.

Fig. 230.

250. Termometro a peso. — Questo termometro è spesso adoperato nelle ricerche fisiche invece del termometro ordinario.

L'asta è soppressa ed il mercurio del serbatojo, quando questo venga scaldato, si riversa in un piccolo recipiente (fig. 230); dal peso del mercurio uscito si deduce la temperatura. Sia P il peso del mercurio che riempie l'apparecchio a zero gradi e π il peso che ne esce collocando l'apparecchio stesso nella stufa, per la determinazione del punto 100. Il rapporto $\frac{\pi}{P-\pi}$ dà evidentemente la dilatazione apparente da 0° a 100°, e quindi il grado ha per valore la centesima parte di questa dilatazione, vale a dire $\frac{\pi}{100\,(P-\pi)}$.

Si supponga ora che l'istrumento, contenente di nuovo il peso P di mercurio a 0°, venga portato in un bagno del quale si vuol conoscere la temperatura, e sia p il peso di mercurio che si versa. La dilatazione apparente totale è $\frac{p}{P-p}$; dividendola pel valore di un grado si avrà la temperatura T richiesta; operando in questo modo si ottiene la formola:

$$T = \frac{p}{P-p} : \frac{\pi}{100\,(P-\pi)} = 100\,\frac{p}{\pi} \cdot \frac{P-\pi}{P-p}.$$

251. Termometro ad alcool. — Nella costruzione del termometro si possono adoperare liquidi diversi dal mercurio; si fa spesso uso dell'alcool. Questo liquido non avendo la stessa legge di dilatazione del mercurio, il termometro ad alcool darebbe delle indicazioni non concordanti con quelle del termometro a mercurio; questo non potrà quindi esser sostituito dal termometro ad alcool che nel caso in cui sia graduato comparativamente a quello a mercurio.

Il termometro ad alcool presenta d'altronde delle irregolarità proprie, derivanti dalla differenze considerevoli che possono presentare gli alcool di diversa provenienza. Al disotto di — 39° il mercurio si congela ed allora il termometro costruito con questo liquido non può oltre servire. L'alcool non si è ancora solidificato alle temperature più basse che si possono finora produrre, può venir quindi adoperato per le basse temperature; in questo caso però, le sue indicazioni hanno un valore proprio ed indipendente da quelle del termometro a mercurio.

252. Termometro a massima ed a minima. — Nelle osservazioni meteorologiche è utile di conoscere la temperatura *massima* e la *minima* che si è prodotta in una spazio di tempo più o meno lungo: a questo scopo si fa uso di apparecchi di forme diverse, tra le quali si citano le seguenti:

Termometro a massima. — È formato da un termometro a mercurio disposto orizzontalmente e presentante una leggera curvatura nell'asta, ad una piccola distanza dal serbatojo (fig. 231). In questo punto si trova un piccolo cilindro di smalto il quale è, per così dire, fermato dalla curva, ma non interrompe la continuità della colonnetta liquida. Quando la temperatura si eleva, la dilatazione si compie senza nessuna particolarità; ma quando si abbassa, in

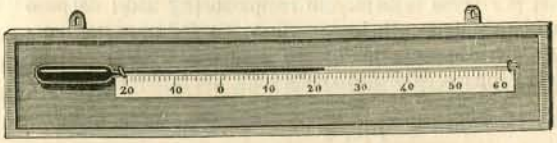


Fig. 231.

causa della curvatura e del piccolo indice, la colonna si divide in questo punto ed il mercurio rimane, di conseguenza, nella posizione del tubo dove venne spinto dalla temperatura la più elevata. Onde rimettere lo strumento in esercizio, lo si raddrizza verticalmente e con piccole scosse si distrugge la discontinuità della colonna di mercurio.

Termometro a minima di Rutherford (fig. 232). — È un termometro ad alcool, pure disposto orizzontalmente: nel liquido si trova un piccolo cilindro di smalto che non impedisce affatto la dilatazione dell'alcool. Quando questo si contrae e la sua estremità viene in contatto coll'indice, la superfice del liquido oppone una resistenza sufficiente a trascinare con sè l'indice; questo si trova dunque

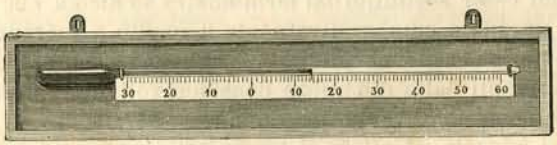


Fig. 232.

condotto al punto corrispondente alla temperatura più bassa. Per rimettere lo strumento in esercizio, lo si inclina in modo che l'indice venga a corrispondere all'estremità della colonna d'alcool.

253. Termometro a versamento di Walferdin. — Questo istrumento è specialmente destinato alla esplorazione della temperatura degli strati terrestri, nelle operazioni di scandaglio: esso presenta alla parte superiore un serbatojo di versamento contenente una certa quantità di mercurio, nel qual serbatojo il tubo termometrico va

a terminare affilato (fig. 233). Quando si debba fare un'osservazione, s'inclina il tubo in modo da porre la punta affilata in comunicazione col mercurio; si scalda un po', allo scopo di ridurre il mercurio del tubo in contatto con quello del serbatojo; si lascia allora raffreddare il termometro, e lo si pone in un bagno di nota temperatura; di 10°, per esempio. Quando si sia stabilito l'equilibrio, si raddrizza lo strumento e, per mezzo di una piccola scossa, si stacca la piccola gocciola di mercurio rimasta aderente alla punta. L'istrumento così preparato vien portato nel luogo di cui si vuol conoscere la temperatura, che, in questo caso, deve essere superiore a 10°. Immerso poscia nuovamente il termometro in un bagno alla stessa temperatura di quello che ha servito a registrarlo, si trova che l'asta non è più riempita dal mercurio e si ottiene la temperatura richiesta aggiungendo a 10° il numero di divisioni che mancano a riempire il tubo. Si potrebbe tralasciare di registrare l'istrumento ad una temperatura ben determinata; basterebbe solamente che questa fosse inferiore alla temperatura da misurarsi; si cercherebbe in seguito, per tentativi, la temperatura che produce il riempimento completo del tubo; questa sarebbe la temperatura cercata.

Fig. 233.

254. Termometri metallici. — I solidi vennero pure impiegati nella costruzione dei termometri; il termometro Bréguet è uno dei più noti. Esso è formato (fig. 234) da una laminetta ravvolta a spirale, sospesa per l'estremo superiore e portante all'esterno inferiore un indice, al disotto del quale si trova un quadrante graduato. La

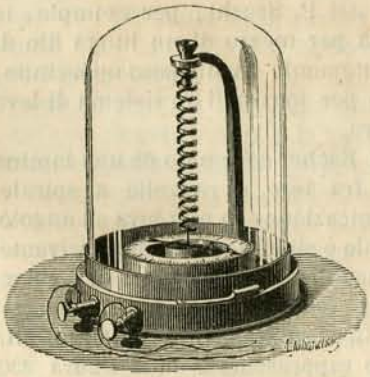


Fig. 234.

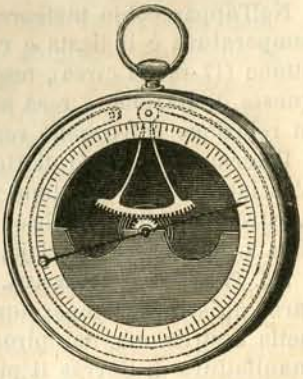


Fig. 235.

lamina è formata da tre nastri uno d'argento, l'altro d'oro, il terzo di platino. L'argento, il più dilatabile, è collocato all'interno della spirale, il platino all'esterno, l'oro serve di saldatura. Se la temperatura aumenta, la spirale si svolge; essa s'avvolge, all'apposto, quando la temperatura diminuisce. Questi movimenti sono accusati dall'indice che si muove sul quadrante in un senso o nell'altro. La figura 235 rappresenta un altro termometro a quadrante, altre volte assai in uso. L'organo principale di questo termometro è una doppia lamina, d'acciajo e di ottone, piegata secondo una circonferenza. Una delle estremità della lamina è fissata invariabilmente, l'altra si articola con una leva, il di cui braccio maggiore termina con un settore dentato; questo ingrana poi con un rocchetto portante l'indice.

Si osservi che i termometri a quadrante potrebbero indicare molto facilmente le temperature massima e minima; basterebbe perciò di porre, da una banda e dall'altra dell'indice, degli indici mobili, i quali verrebbero spinti in un senso o nell'altro a seconda delle variazioni di temperatura.

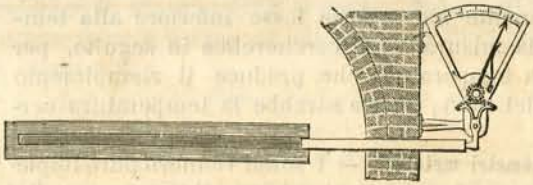


Fig. 236.

I termometri metallici si prestano assai bene come apparecchi registratori, ed appunto si deve al loro impiego come termometrografi se vennero tolti dall'oblio in cui erano da molto tempo.

Nell'apparecchio meteorografico del P. Secchi, per esempio, la temperatura è indicata e registrata per mezzo di un lungo filo di ottone (17 metri circa), teso costantemente da un peso opportuno; questa dilatazione è resa sensibile per mezzo di un sistema di leve in relazione coll'organo registratore.

Il termometrografo di Hasler ed Escher è formato da una lamina d'acciajo ed una di ottone saldate fra loro e ravvolte a spirale, L'estremità della spirale è in comunicazione con una leva ad angolo. fissata ad un asse d'acciajo, sul quale è stabilito il sistema scrivente.

255. Pirometro di Brongniart. — I metalli essendo capaci di sopportare altissime temperature senza fondersi, possono adoperarsi nella costruzione dei pirometri. Brongniart aveva stabilito alla manifattura di Sèvres il pirometro rappresentato dalla figura 236.

Un asta di ferro è collocata in una scanalatura, praticata in una

lastra di porcellana collocata nel forno. L'asta di ferro si appoggia, con un estremo, sul fondo invariabile della scanalatura, e coll'altro spinge una sbarra di porcellana passante attraverso ad un'apertura praticata nella parete del forno. Per l'intermezzo di una leva ad ingranaggio questo movimento è trasmesso ad un'indice moventesi sopra un quadrante graduato.

Nelle esperienze di precisione vengono specialmente usati i gaz come sostanze pirometriche.

256. Termometro differenziale. — Leslie, celebre fisico scozzese, ha

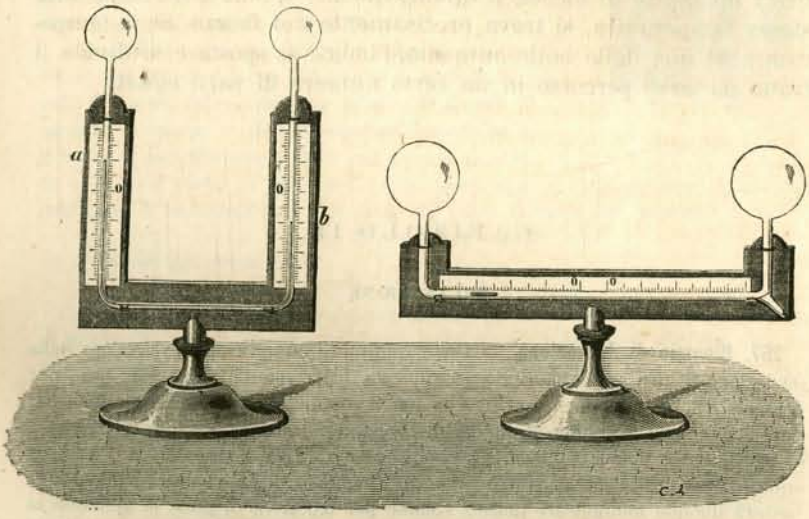


Fig. 237. Fig. 238.

imaginato, verso il principio di questo secolo, un istrumento ingegnoso che permette di misurare delle piccole variazioni di temperatura. Una colonnetta di acido solforico colorato è introdotta in un tubo piegato due volte ad angolo retto in modo da formare due rami paralleli, e terminato alle sue estremità da bolle eguali (fig. 237). Il liquido riempie la parte orizzontale del tubo e parte dei rami verticali: quando l'aria contenuta nelle due bolle è alla stessa temperatura, qualunque essa sia, il liquido (l'istrumento essendo ben regolato) si eleva alla stessa altezza nei rami verticali e raggiunge due punti segnati zero. Una delle bolle essendo mantenuta ad una certa temperatura, se si eleva la temperatura dell'altra, per esempio di 5°, la colonnetta liquida si eleverà dal lato della bolla fredda fino in *a*, mentre discenderà dall'altra parte in *b*. Si supponga diviso in dieci parti eguali lo spazio percorso dal liquido, il valore di ciascuna divisione sarà di $^1/_4$ di grado.

Queste divisioni si prolungano su ciascun ramo, da una parte e dell'altra dello zero.

Il termometro differenziale è molto sensibile ed ha permesso a Leslie di arrivare a determinazioni assai delicate intorno al calor raggiante. Oggigiorno però questo termoscopio è pressochè abbandonato e sostituito dal termometro elettrico di Melloni. Il termoscopio di Rumford (fig. 238) è un istrumento analogo al termometro differenziale; ha però il ramo orizzontale assai più lungo e i rami verticali assai più brevi di quello. Nel ramo orizzontale si trova un indice di alcool, il quale, quando le due bolle sono alla stessa temperatura, si trova precisamente nel mezzo. Se la temperatura di una delle bolle aumenta, l'indice si sposta e si divide il tratto da esso percorso in un certo numero di parti eguali.

CAPITOLO II.

Dilatazione

257. Binomio di dilatazione. — Onde esprimere numericamente il valore della dilatazione di una sostanza, si riferisce questa dilatazione all'unità. Si dirà, per esempio, che tra la temperatura 0° e la 100° il volume del vetro aumenta di 0,002; vale a dire, che il volume di un decimetro cubo si accresce passando da 0° a 100°, di una quantità eguale a $^2/_{1000}$ di decimetro cubo, vale a dire di 2 centimetri cubici. Per conoscere, in eguali circostanze, l'aumento di un volume qualunque V, basterà dunque moltiplicare questo volume per 0,002. Se si pone in generale m la dilatazione così espressa tra 0 e t^o, V il volume a 0° e V' il volume a t^o, si avrà la relazione

$$V' = V + Vm \qquad \text{ossia}$$

$$(1) \qquad V' = V(1 + m)$$

Alla quantità $1 + m$, la quale è di continuo uso nei calcoli riguardanti la dilatazione, si dà il nome di *binomio di dilatazione*.

Si può dunque enunciare l'equazione (1) dicendo che: *conosciuto il volume di un corpo a zero, per avere il suo volume ad una temperatura qualunque, basta moltiplicare il volume a zero pel binomio di dilatazione.*

258. Coefficiente di dilatazione. — Spesso gli accrescimenti successivi di volume di un corpo, a partire da zero, sono eguali fra di loro, entro certi limiti; in questo caso si dice che la dilatazione è *uniforme*. Se K è l'accrescimento dell'unità di volume da 0° ad 1°, l'accrescimento m da 0 a t^o sarà eguale a $K\,t$, e quindi la formola (1) diventa

$$(2) \qquad V' = V(1 + K\,t)$$

La quantità $1 + K\,t$ dicesi però sempre binomio di dilatazione, K è poi il *coefficiente di dilatazione*.

Il coefficiente di dilataztone si può dunque definire: *l'accrescimento dell'unità di volume di un corpo scaldandosi da 0° ad 1°*. Da questa definizione risulta

che il valore numerico del coefficiente di dilatazione dipende ad una volta e dal valore del grado e dalla temperatura che serve di punto di partenza. Ordinariamente, in fisica, si prende per origine la temperatura zero.

259. Dilatazione cubica, lineare, superficiale. — Quando un corpo solido si dilata, si può considerare in particolare l'aumento di lunghezza di una sola delle dimensioni lineari del corpo; è ciò che si dice *dilatazione lineare*. L'aumento di superfice di una porzione qualunque della superfice del corpo, dicesi *dilatazione superficiale*. Esprimendo queste dilatazioni secondo le regole indicate (257), si possono dimostrare le due proposizioni seguenti: 1.° La dilatazione cubica è tripla della dilatazione lineare; 2.° La dilatazione superficiale è doppia della dilatazione lineare.

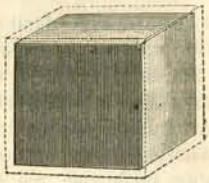


Fig. 239.

Si consideri infatti (fig. 239) un cubo di una sostanza qualunque e si supponga che a zero lo spigolo di questo cubo abbia per lunghezza l'unità di misura; il volume è per conseguenza eguale ad 1, e l'area di una qualunque delle sue facce è pure 1. Se si porta il corpo ad una temperatura qualunque t, ciascuno degli spigoli aumentando di una lunghezza l, le facce del cubo avranno per superfice:

$$(1 + l)^2 = 1 + 2\,l + l^2,$$

ed il volume del corpo sarà:

$$(1 + l)^3 = 1 + 3\,l + 3\,l^2 + l^3$$

Ora il numero l che rappresenta la dilatazione lineare è sempre assai piccolo, di modo che il suo quadrato ed il suo cubo sono trascurabili rispetto alla sua prima potenza. Ciò posto, è chiaro allora che l'aumento di ciascuna delle facce del cubo è sensibilmente eguale a $2\,l$ e l'aumento di volume del cubo è eguale a $3\,l$; ciò che corrisponde appunto alle proposizioni enunciate.

Queste proposizioni si applicano evidentemente al coefficiente di dilatazione e si può dunque dire che *il coefficiente di dilatazione lineare è eguale ad un terzo del coefficiente della dilatazione cubica, ed alla metà del coefficiente della dilatazione superficiale.*

La dimostrazione precedente suppone che il corpo dilatandosi rimanga simile a sè stesso, ciò che ha luogo solamente quando la sostanza è omogenea e non cristallizzata: nei cristalli la dilatazione varia da una direzione all'altra con regole variabili a seconda del sistema cristallino.

260. Formole diverse. — Dalle formole (1) e (2) si può dedurre il valore di V in funzione di V' e si ha:

$$(3) \qquad V = \frac{V'}{1 + m}; \qquad (4) \qquad V = \frac{V'}{1 + K\,t}$$

Ciò si può esprimere dicendo che, *conosciuto il volume di un corpo ad una certa temperatura, si ottiene il volume a 0°, dividendo il volume dato pel binomio di dilatazione.*

Le formole (1) (2) (3) (4) sono casi particolari di una formola più generale. Sieno V e V' i volumi di uno stesso corpo alle temperature t e t', U il volume a 0°, K il coefficiente di dilatazione, pel caso che la dilatazione sia uniforme, ed, in qualunque caso, m ed m' le dilatazioni da 0° a t e da 0° a t'. Secondo le formole (1) e (2) si avrà:

$$V = U\,(1 + m) = U\,(1 + K\,t)$$
$$V' = U\,(1 + m') = U\,(1 + K\,t')$$

le quali, divise membro a membro danno:

$$(5) \qquad \frac{V}{V'} = \frac{1+m}{1+m'} = \frac{1+Kt}{1+Kt'}$$

I volumi assunti da un corpo a diverse temperature sono dunque proporzionali ai rispettivi binomi di dilatazione.

Dalla (5) si deducono:

$$(6) \qquad V = V' \cdot \frac{1+m}{1+m'}; \qquad V = V' \cdot \frac{1+Kt}{1+Kt'}$$

Le formole precedenti sono evidentemente applicabili al caso della dilatazione lineare ed a quello della dilatazione superficiale.

261. Influenza della temperatura sul peso specifico. — Il volume di un corpo variando colla temperatura, il suo peso specifico risente una variazione inversa. Conosciuto il peso specifico ad una temperatura qualunque, ed il coefficiente di dilatazione della sostanza, si potrà calcolare il peso specifico ad un'altra temperatura qualunque. Sia D il peso specifico, vale a dire il peso dell'unità di volume di una sostanza, alla temperatura zero; se la temperatura s'innalza a t gradi, l'unità di volume diventa $1 + Kt$ mentre il suo peso non cambia. Se D' è il peso specifico alla temperatura t, si avrà:

$$(7) \qquad D = D'(1 + Kt)$$

da cui si deduce:

$$(8) \qquad D' = \frac{D}{1+Kt}$$

In generale, sieno D e D' i pesi specifici di un corpo alle temperature t e t'; se D^0 è il peso specifico alla temperatura 0^0, si avrà, per quanto ora si è detto:

$$D = \frac{D_0}{1+Kt}; \qquad D' = \frac{D_0}{1+Kt'}$$

espressioni che, divise membro a membro, danno:

$$(9) \qquad \frac{D}{D'} = \frac{1+Kt'}{1+Kt}$$

vale a dire *che i pesi specifici di un corpo, a due temperature diverse sono inversamente proporzionali ai rispettivi binomi di dilatazione.*

Dilatazione dei solidi.

262. Esperienza di Laplace e Lavoisier. — Laplace e Lavoisier hanno determinata la dilatazione lineare di un gran numero di solidi col seguente processo: L'asta AB della sostanza da sperimentarsi (fig. 240) è appoggiata con una delle sue estremità contro un ostacolo fisso A; l'altra estremità B può muoversi liberamente e spingere la leva OB, mobile intorno ad un punto O e portante un cannocchiale, la cui visuale è diretta verso una mira lontana. È chiaro che uno spostamento BB' corrisponderà sulla mira ad una lunghezza CC' notevolmente più grande, e di tanto più grande quanto più la mira

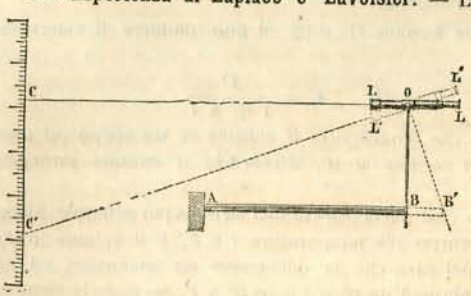


Fig. 240.

è lontana. Il rapporto di CC' a BB' è uguale al rapporto di $O\ B$ ad $O\ C$ ed è costante per tutta la durata dell'esperienza. Per determinare questo rapporto una volta per sempre, basterà produrre uno spostamento BB' determinato e misurare la quantità corrispondente $C\ C'$.

La figura 241 rappresenta l'apparecchio di cui si servirono Laplace e Lavoisier. Fra quattro pilastri massicci di pietra N è collocata una vasca C, nella quale si pone l'asta S da sottoporsi all'esperienza. L'asta appoggia con una delle sue estremità contro un montante fisso B', collegato invariabilmente a due dei pilastri: coll'altra estremità spinge il montante B, il quale determina poi la rotazione dell'asse $a\,a'$; questo trascina nel suo movimento il cannocchiale $L\,L'$ diretto verso la mira. S'incomincia dal circondare l'asta con ghiaccio fondente e si osserva il numero della mira corrispondente alla visuale del cannocchiale. Si eleva in seguito la temperatura della vasca e, dal numero di gradi percorso, si deduce la misura dell'allungamento dell'asta.

Laplace e Lavoisier hanno riconosciuto in questo modo che la dilatazione dei solidi tra 0° e 100° è sensibilmente uniforme; oltre 100° essa varia colla temperatura.

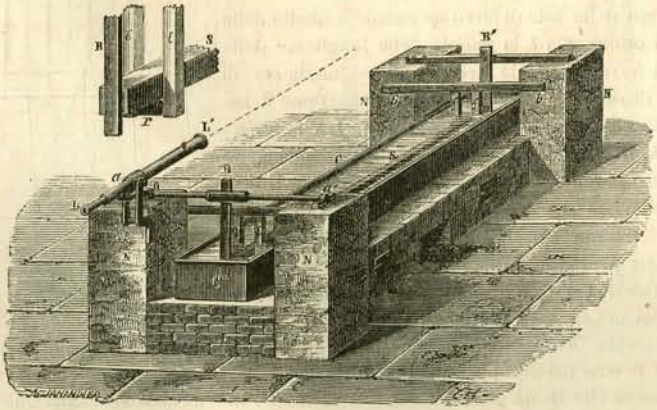


Fig. 241.

La tavola seguente contiene i principali tra i risultati ottenuti da Lavoissier e Laplace.

Coefficiente di dilatazione lineare.

Oro ricotto	0, 000015155	Ferro dolce fucinato . .	0, 000012204
Oro non ricotto . . .	0, 000015515	Ferro trafilato	0, 000012550
Acciajo non temperato .	0, 000010792	Flint glass	0, 000008116
Acciajo temperato . . .	0, 000012595	Platino	0. 000009918
Argento fuso	0, 000019075	Piombo	0, 000028485
Argento al titolo di Parigi	0, 000019086	Vetro di Francia con piombo . . , . .	0, 000008715
Rame rosso	0, 000017175	Zinco laminato	0, 000029416
Rame giallo	0, 000018782	Zinco fucinato	0, 000031085
Stagno di Malaca . . .	0, 000019576		
Stagno di Falmouth . .	0, 000021729		

263. Pendolo a compensazione. — Il pendolo, come si è visto, è il regolatore degli orologi. Si supponga che l'istrumento sia stato regolato sulla temperatura 0° e che la temperatura si elevi; la lunghezza del pendolo aumentando, la durata dell'oscillazione aumenta pure, e quindi l'orologio deve ritardare. L'opposto avrebbe

luogo se la temperatura si abbassa sotto 0°. Come si vede, gli orologi dovranno *correre* in inverno, e *ritardare* in estate; converrà dunque di regolare ogni tanto la posizione della lente del pendolo, onde mantenere all'orologio la voluta regolarità.

Si arriva ad attenuare notevolmente gli effetti delle variazioni di temperatura per mezzo dei pendoli a compensazione, i quali presentano disposizioni assai diverse.

1.° *Pendolo di Leroy.* — Questo pendolo è formato da quattro telaj alternativamente in acciajo F ed in ottone C (fig. 232); i telaj in ottone si appoggiano sul lato inferiore dei telaj in acciajo e l'asta d'acciajo che porta la lente è fissata alla parte superiore del secondo telajo in ottone. Da questa disposizione consegue che, in causa dell'allungamento delle aste di acciajo la lente tenderà ad abbassarsi, mentre tenderà a sollevarsi in causa dell'allungamento delle aste di ottone. Si capisce come questi due effetti possano compensarsi, bastando a ciò che l'aumento delle aste di ferro sia uguale a quello delle aste di ottone. Sia L la somma delle lunghezze delle aste di ferro ed L' la somma delle lunghezze di quelle di ottone; perchè vi sia compensazione è necessario che $L K t = L' K' t$ ossia che $L K = L' K'$, dove K, K' sono i coefficienti di dilatazione lineare del ferro e dell'ottone. Consultando la tavola precedente si vede che K è presso a poco i $^2/_3$ di K'; bisognerà dunque che la lunghezza totale delle aste di ottone sia presso a poco i $^2/_3$ di quella delle aste di ferro. Questa condizione conduce ad assumere almeno due telai in ottone; con uno solo la compensazione non potrebbe avere luogo, giacchè la lunghezza totale delle aste di ferro dovrebbe essere press'a poco doppia di quella delle aste di ottone. Se non si volesse usare che di un solo telajo per ciascun dei metalli, bisognerebbe che questi avessero una differenza di dilatazione assai più sentita di quella che passa tra il ferro e l'ottone, per esempio, far uso di ferro e zinco (pendolo di Jurgensen).

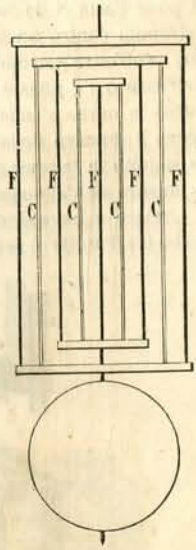


Fig. 242.

Si osservi, che acciocchè la compensazione fosse perfetta, bisognerebbe che il centro di oscillazione rimanesse costantemente alla medesima distanza dal centro di sospensione (121); a ciò non corrisponde la precedente disposizione la quale deve essere considerata come un mezzo di attenuare le irregolarità provenienti dalle differenze di temperatura e non come un mezzo di toglierle. La vite che si vede al disotto della lente nella figura 243, serve a completare la compensazione, quando occorra.

2.° *Pendolo di Graham.* — È formato da un'asta di ferro portante alla parte inferiore una traversa sulla quale si appoggiano due vasi cilindrici di vetro contenenti del mercurio. Quando la temperatura aumenta, l'allungamento dell'asta di ferro abbassa il centro di gravità e di conseguenza il centro di oscillazione dell'apparecchio; ma la dilatazione del mercurio produce un fenomeno inverso e si potrà regolare l'altezza del mercurio in modo che si stabilisca una compensazione pressochè esatta (fig. 244).

3.° *Pendolo di Brocot.* — Questo pendolo, assai in uso da qualche anno, è formato da un'asta di ferro che porta alla parte inferiore la lente: dalla parte

superiore partono due aste di ottone *c c* le quali, per mezzo delle leve *a a* e delle caviglie *t t* fissate alla lente, sollevano quest'ultima quando la temperatuna aumenta. Si capisce facilmente come i bracci di leva possono scegliersi di tali dimensioni che, per l'effetto inverso delle dilatazioni dell'ottone e del ferro, il centro della lente rimanga sempre alla medesima distanza dall'asse di sospensione (fig. 245).

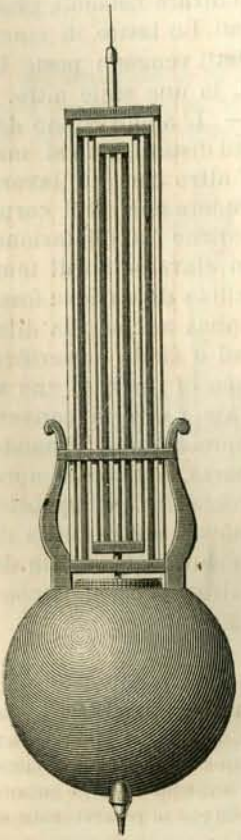


Fig. 243.

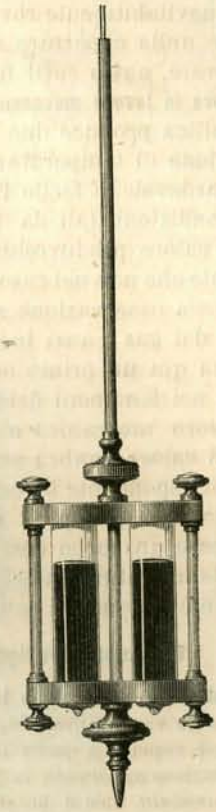


Fig. 244.

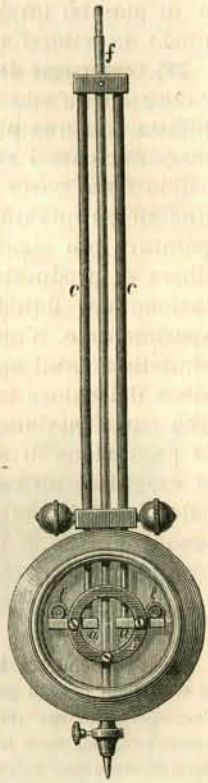


Fig. 245.

264. Potenza di dilatazione dei solidi. — La forza colla quale si produce la dilatazione dei solidi è assai grande; per convincersene basta calcolare lo sforzo meccanico che bisognerebbe esercitare per produrre un effetto aquivalente: il ferro, per esempio, si allunga di 0,0012 della lunghezza iniziale per l'aumento di temperatura fra 0° e 100°: per produrre questo allungamento in un cubo di ferro di 1 decimetro di lato, bisognerebbe impiegare una trazione di circa 250000 chilogrammi. Nelle costruzioni e special-

mente nei congiungimenti dove entrano metalli, bisognerà perciò disporre i pezzi in modo che la dilatazione possa aver luogo senza incaglio. Gli è perciò che nelle strade ferrate i *rails* sono disposti in modo da lasciare fra le loro teste un piccolo intervallo, onde permettere le variazioni di lunghezza. Le travi in ferro devono potersi muover alle loro estremità senza incontrare ostacoli, giacchè questi sarebbero inevitabilmente rovesciati. Le lastre di zinco o di piombo impiegate nella copertura dei tetti vengono poste in modo da potersi smuovere, entro certi limiti, le une sulle altre.

265. Conversione del calore in lavoro meccanico. — L'applicazione del calore ad un'asta metallica produce due effetti distinti, uno si manifesta con una elevazione di temperatura, l'altro con un lavoro meccanico assai ragguardevole. È facile l'intendere che, se il corpo solido fosse posto in condizioni tali da impedirne la dilatazione, una stessa quantità di calore produrrebbe un elevamento di temperatura più significante che non nel caso in cui la dilatazione fosse libera di prodursi: questa osservazione si applica anche alla dilatazione dei liquidi e dei gaz, anzi in questi è facile la verifica sperimentale. S'incontra qui un primo esempio di un fatto che si riproduce assai spesso nei fenomeni fisici, vale a dire la conversione del calore in lavoro meccanico e reciprocamente. Quando una parte qualunque di calore sembra scomparsa, si trova sempre la produzione di un corrispondente lavoro meccanico. All'opposto, si eseguisce un certo lavoro, questo si manifesta sotto forma di calore; se si comprimesse un corpo così da ridurlo al volume da esso occupato ad una temperatura inferiore all'attuale, si riscontrerebbe nel corpo un elevamento di temperatura.

Dilatazione dei liquidi.

266. Relazione tra la dilatazione apparente e la dilatazione assoluta. — Se si scalda un liquido posto in un vaso, il livello del liquido si eleva in causa dell'eccesso della sua dilatazione rispetto a quella del vaso: l'aumento di volume osservato costituisce la *dilatazione apparente*, la quale, evidentemente, è minore della *dilatazione reale od assoluta*, vale a dire di quella che si osserverebbe se il vaso non avesse esso stesso subita alcuna dilatazione.

Tra il coefficiente della dilatazione apparente, quello della dilatazione assoluta e quello del vaso, passa una relazione assai semplice. Posti, D il coefficiente della dilatazione assoluta, Δ quello della dilatazione apparente e K quello della sostanza di cui è fatto il vaso si può approssimativamente stabilire:

$$D = \Delta + K$$

cioè che *il coefficiente della dilatazione assoluta è eguale alla somma del coefficiente della dilatazione apparente con quello della dilatazione del vaso.*

267. Dilatazione del vetro. — Per mezzo della precedente relazione si può trovare il coefficiente di dilatazione dei diversi vetri; basta misurare il coefficiente della dilatazione apparente del mercurio in un termometro fatto col vetro da studiarsi, e toglierlo dal coefficiente della dilatazione assoluta del metallo;

quest' ultimo coefficiente, come si vedrà in seguito, è $\frac{1}{5550}$. Il coefficiente della dilatazione apparente del mercurio varia un po' da un vetro all'altro; se si assume per valore medio $\frac{1}{6480}$, come venne stabilito da Dulong e Petit, si avrà per coefficiente di dilatazione del vetro.

$$K = \frac{1}{5550} - \frac{1}{6480} = \frac{1}{38700}$$

268. Dilatazione di un liquido qualunque. — La dilatazione del vetro adoperato nella costruzione di un termometro essendo nota, si potrà servirsi dell'istrumento per misurare la dilatazione di un liquido qualunque. Perciò s'introduce nel serbatoio termometrico il liquido da studiarsi e si osserva esattamente il volume V. vale a dire il numero totale di divisioni da esso occupato a 0. Si porti in seguito la temperatura

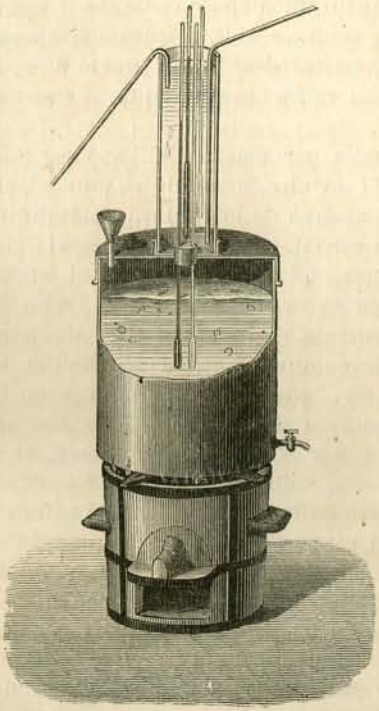


Fig. 246.

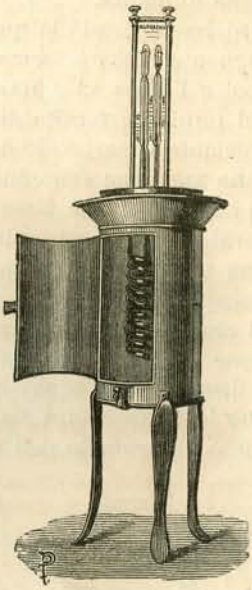


Fig. 247.

a T e si misuri il nuovo volume V'. Queste V' divisioni rappresentano però infatto un volume $V'(1 + K\,T)$, in causa della dilatazione del vetro; d'altra parte il volume reale del liquido è $V(1 + D)$, D essendo l'accrescimento dell'unità di volume da 0 alla temperatura considerata; si ha dunque l' equazione:

$$V(1 + D) = V'(1 + K\,T)$$

dalla quale si può dedurre il valore di D.

Pierre ha fatto con questo metodo delle ricerche assai estese ed ha studiato un gran numero di liquidi. La fig.ª 246 rappresenta l'apparecchio di cui si è servito.

Il termometro che contiene il liquido da studiarsi è collocato allato di un termometro a mercurio, destinato a fornire la temperatura. Solamente il serbatojo ed una piccola parte dell'asta sono immerse nel bagno contenuto nel cilindro inferiore. Le parti superiori delle aste sono contenute in un secondo cilindro più piccolo nel quale si mantiene dell'aqua ad una temperatura sensibilmente costante, indicata da un termometro assai sensibile.

Da queste esperienze risulta che la dilatazione dei liquidi è in generale molto più grande di quella dei solidi; di più, essa non si produce in modo uniforme rispetto al termometro a mercurio e va crescendo sensibilmente mano mano che la temperatura aumenta.

269. Massimo di densità dell'aqua. — L'aqua presenta una eccezione curiosa ed unica alla legge generale di dilatazione. Se si calcola di grado in grado il volume occupato da un peso costante di aqua, si riconosce che questo volume è minimo a 4°. A questa temperatura dunque, l'aqua possiede la *massima densità*; di modo che, a partire da 4°, tanto scaldando come raffreddando l'aqua, il suo volume aumenta.

Si rende sensibile questa anomalia per mezzo dell'apparecchio seguente. Esso è formato (fig. 246) da due termometri, uno ad alcool e l'altro ad aqua; questo, a motivo della minore dilatabilità del liquido, è fornito di un grosso serbatojo, foggiato a spirale circondante il serbatojo del termometro ad alcool. I serbatoj stessi sono ambedue contenuti in una cassa in metallo che si riempie di ghiaccio. I due istrumenti sono regolati in modo che, alla temperatura 0°, le estremità delle due colonne liquide si trovino in una medesima linea orizzontale. Se, quando le colonne sono in questa posizione, si toglie il ghiaccio e si abbandona l'apparecchio al riscaldamento naturale, oppure, per attivare il fenomeno, vi si pone al disotto un lampada a spirito, subito si vede salir l'alcool e discendere l'aqua; questo movimento inverso continua fino a che la temperatura sia arrivata a circa 4°. A questo momento il moto discendente dell'aqua cessa per dar luogo ad un movimento nello stesso senso di quello dell'alcool. Questa esperienza, assai propria per mostrare il fenomeno, non permette di misurare esattamente la temperatura del massimo di densità, giacchè, infatti, si osserva la dilatazione apparente dell'aqua e non la sua dilatazione assoluta. L'esperienza seguente, dovuta ad Hobes, è più rigorosa.

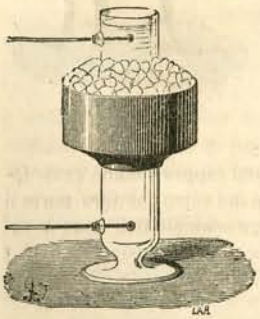


Fig. 247.

Si fa uso di una provetta munita alla parte superiore ed alla inferiore di aperture che lasciano passare due termometri (fig. 247). Si riempie la provetta d'aqua

e si pone un miscuglio refrigerante nel manicotto che ne circonda la parte media. Ciò posto, ecco quanto si osserva:

Il termometro inferiore scende progressivamente fino a 4° e vi rimane in segnito stazionario. Durante la prima parte del fenomeno il termometro superiore non varia sensibilmente, ma quando il primo ha raggiunta la temperatura stazionaria, incomincia a discendere, raggiunge la temperatura 0°, e, finalmente, l'aqua superiore si congela, qualora il miscuglio conservi per un tempo sufficiente la sua azione. Questi fatti si spiegano assai facilmente:

L'aqua contenuta nella parte media si raffredda, aumenta la sua densità e cade al fondo. Si stabilisce così una corrente che raffredda l'aqua inferiore. Quando però questa arriva a 4°, la corrente cessa, giacchè coll'ulteriore raffreddamento la densità diminuisce. Allora l'aqua della parte di mezzo si raffredda fino a 0, si formano dei piccoli aghi di ghiaccio i quali, in causa della loro leggerezza specifica, salgono e producono così una corrente che determina la congluzione dell'aqua superiore, mentre quella alla parte inferiore si mantiene a 4°. Questa esperienza è, in piccola scala, l'immagine di quanto succede nei laghi d'aqua dolce. Il raffreddamento dello strato superficiale non si propaga sino al fondo della massa liquida; questa, qualunque sia il freddo esterno, conserva una temperatura invariabile di 4°. Questo fatto, assai interessante, è un esempio delle strette relazioni che reggono i fenomeni naturali e che li fanno concorrere ad uno scopo determinato. Così, a questo fenomeno presentato dall'aqua nella sua dilatazione, è legata come conseguenza la persistneza d'una temperatura moderata al fondo delle masse d'aqua, anche durante i freddi rigorosi. Questa circostanza da una parte, e dall'altra la leggerezza specifica del ghiaccio e il difetto di conduttività dell'aqua, hanno per effetto di sottrarre la moltitudine d'animali che popolano questo liquido alle rigide temperature che sarebbero occasione della loro distruzione.

270. Dissoluzioni saline. — Nell'aqua che tiene in dissoluzione una quantità di sale più o meno grande, il massimo di densità si abbassa insieme al punto di congelazione, ma il primo effetto è più significante del secondo, di modo che, per una certa proporzione di materia salina, il massimo di densità si trova al disotto del termine di congelazione. Non è dunque direttamente osservabile; per constatarne l'esistenza bisogna porre le soluzioni in tali circostanze da obbligarle a rimanere liquide al disotto del loro punto di congelazione. Questo è un esempio curioso della continuità delle leggi fisiche e della restrizione che conviene di applicare in fisica al principio, d'altronde esatto e logico, delle cause finali. Così, l'aqua di mare ha un massimo di densità, ma prima ch'essa abbia raggiunta la temperatura che gli corrisponde si sarà prodotta la con-

gelazione. Questo massimo di densità non ha dunque alcuna utilità pratica nella natura, la sua esistenza è semplicemente una prova della permanenza della legge fisica, anche nel caso in cui scompajono le circostanze che rendono sensibile la sua utilità generale.

271. Dilatazione assoluta del mercurio. — L'importanza eccezionale del mercurio nelle esperienze di fisica, il suo impiego speciale nella costruzione del barometro e del termometro, fecero sentire il bisogno della determinazione rigorosa del coefficiente di dilatazione di questo liquido. Dulong e Petit hanno risolta questa questione in modo assai esatto e con un metodo assai ingegnoso, il di cui principio consiste nel sostituire alla misura, sempre un po' incerta, dei volumi, quella più sicura dell'altezza di colonne liquide.

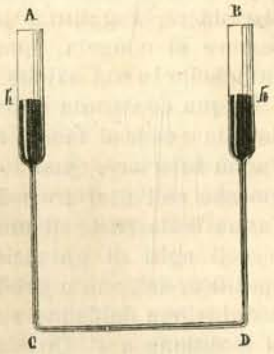


Fig. 249.

Sieno A e B (fig. 249) due tubi comunicanti fra loro per mezzo di un tubo assai sottile $C\ D$, contenenti del mercurio. Se questo liquido è in ogni parte alla medesima temperatura, dovrà elevarsi alla stessa altezza nei due rami, pel principio fondamentale dei vasi comunicanti. Ma se il tubo $A\ C$ essendo, per esempio, mantenuto a 0°, si eleva la temperatura del tubo $B\ D$, la densità del liquido caldo diminuendo, l'altezza necessaria ad equilibrare la pressione del liquido freddo, dovrà essere maggiore dell'altezza di questo. Nel tubo orizzontale di comunicazione s'imagini uno strato verticale, e sieno h e h' le altezze del liquido nei due rami al disopra del centro di gravità dello strato stesso; le pressioni dovendo essere eguali dalle due parti, poste d e d' rispettivamente le densità del mercurio a 0° ed alla temperatura t, si dovrà necessariamente verificare la relazione: $h\,d = h'\,d'$.

Ma per quanto si è detto $d' = \frac{d}{1+m}$, m essendo la dilatazione da $0°$ a t;

di conseguenza: $h\,d = \frac{h'\,d}{1+m}$, da cui:

$$m = \frac{h' - h}{h}$$

Si vede dunque che per ottenere m, basta misurare esattamente le altezze h, h'.

Ecco come Dulong e Petit hanno realizzato il precedente metodo.

Il tubo di comunicazione fra i due rami A, B dell'apparecchio (fig. 210) appoggia sopra una sbarra di ferro in forma di T, che si può ridurre ad una perfetta orizzontalità. A tale scopo la sbarra appoggia sopra uno zoccolo munito di viti di livello e sulla sbarra stessa sono collocate, ad angolo retto fra loro, due livellette. Una delle colonne B è mantenuta in un manicotto contenente del ghiaccio fondente; l'altra A è collocata in un cilindro di rame contenente dell'olio, scaldata per mezzo di un fornello attinente all'apparecchio. Quando si vuol fare una osservazione si dispongono le cose in modo che, al momento cui è raggiunta la temperatura alla quale si vuole esperimentare, il mercurio si elevi qualche poco nel tubo A al disopra del coperchio del cilindro, così che lo si possa prendere di mira col cannocchiale di un catetometro; basta perciò aggiungere o togliere una piccola quantità di mercurio. Si mira in seguito l'estremità della colonna B

e si ottiene così la differenza delle altezze h' ed h. Rimane ancora da misurarsi l'altezza assoluta h. A questo scopo si misura direttamente l'altezza di un punto di risc ntro i al disopra della superfice della sbarra, e si sottrae da questa altezza la metà del diametro del tubo erizzontale; basta allora evidentemente misurare, al momento dell'esperienza, la distanza dell'estremità della colonna B dal punto di riscóntro.

La temperatura dell'olio è data dal termometro a peso t e dal termometro ad aria r.

Con questo metodo Dulong e Petit hanno constatato che la dilatazione del mer-

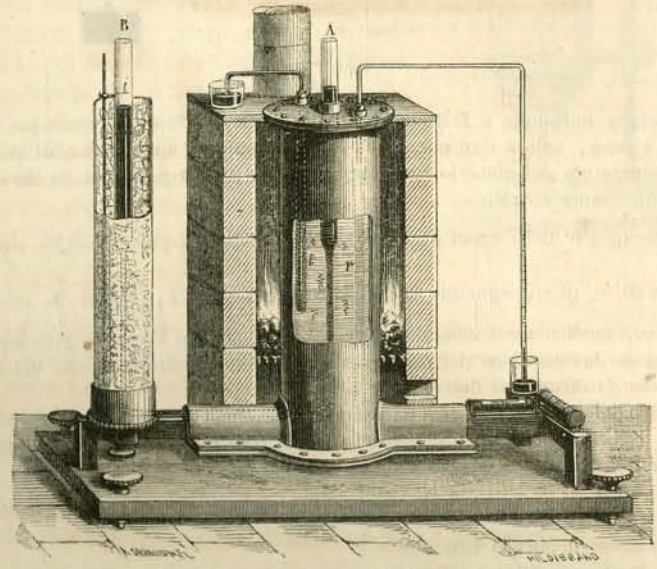


Fig. 250.

curio è sensibilmente uniforme tra 0° e 100°. Al disopra di questa temperatura va, come per tutti i liquidi, aumentando, ma in modo più sensibile. Così, il coefficiente medio tra 0° e 100° è $\frac{1}{5550}$: tra 0° e 200° diventa $\frac{1}{5425}$, e fra 0° e 300° arriva a $\frac{1}{5500}$.

Regnault, conservando il principio della ricerca di Dulong e Petit, ha fatto uso di un apparecchio migliorato sotto diversi punti di vista, nel quale i rami A e B sono assai più lunghi, ciò che fornisce una molto maggiore sensibilità. I risultati da esso ottenuti non differiscono notevolmente da quelli di Dulonge e Petit; così, per esempio, il coefficiente medio tra 0° e 100° venne trovato eguale a $\frac{1}{5509}$. Dalle stesse esperienze risulta che il coefficiente medio tra 0° e 50° è $\frac{1}{5547}$, numero praticamente quasi assolutamente concordante con $\frac{1}{5550}$.

272. Dilatazione del ferro e del platino. — Conosciuta la dilatazione reale de mercurio se ne deduce, come si è visto, il coefficiente di dilatazione del vetro. Dulonge Petit ne hanno pure dedotta la dilatazione del ferro e del platino (metalli non attaccabili dal mercurio) col metodo seguente:

Essi davano al metallo sul quale volevano esperimentare, la forma cilindrica e l'introducevano nel serbatojo di un termometro a peso (fig. 250). Sia P il peso

Fig. 250.

del metallo introdotto e D il suo peso specifico a 0°. Si opera come pel termometro a peso, vale a dire che, dopo aver riempito l'apparecchio di mercurio alla temperatura del ghiaccio fondente, si misura il peso p di metallo che esce ad una temperatura data t.

Il volume a 0° del mercurio uscito è $\frac{p}{d}$, essendo d il peso specifico del mercurio a 0°, e, di conseguenza, il suo volume a t gradi è: $\frac{p}{d}(1 + m\,t)$, essendo m il coefficiente di dilatazione del mercurio. Questo volume rappresenta evidentemente la dilatazione del metallo esperimentato più la dilatazione del mercurio, meno la dilatazione del vetro.

Se dunque si indica con M il peso di mercurio che riempie l'apparecchio a 0°, con K il coefficiente di dilatazione del vetro e con x la dilatazione dell'unità di volume del metallo sottoposto all'esperienza, si avrà l'equazione:

$$\frac{p}{d}(1 + m\,t) = \frac{P}{D}x\,t + \frac{M}{d}\,m\,t - \left(\frac{P}{D} + \frac{M}{d}\right)K\,t,$$

della quale si deduce il valore di x.

273. Moti convettivi nei liquidi. — Quando le diverse parti di un liquido sono diversamente calde, si stabilisce fra esse una corrispondente differenza di densità e si producono per conseguenza, delle correnti le quali hanno per effetto di equilibrare la temperatura nelle diverse parti della massa liquida, ad onta della sua cattiva conduttività. A questi movimenti si dà il nome di *moti convettivi.*

Se si scalda un liquido alla parte inferiore, le parti che subiscono direttamente l'azione del fuoco si dilatano e si elevano portandosi alla parte superiore; esse vengono, alla parte inferiore, sostituite da strati freddi i quali, scaldandosi, si elevano alla lor volta; e così di seguito. Si può rendere sensibile l'esistenza di questa doppia corrente disseminando nell'aqua della segatura di legno di quercia, la quale ha press'a poco la stessa densità dell'aqua. Si riconosce allora che la corrente ascendente occupa il centro del vaso (fig. 251) e che le correnti discendenti si stabiliscono lungo le pareti.

274. Riscaldamento per circolazione d'aqua calda. — Il riscaldamento ad

aqua calda è una applicazione della precedente esperienza. La figura (252) rappresenta una delle disposizioni più usitate; è il sistema detto a bassa pressione, perchè con esso non si sorpassa mai la temperatura di 100°.

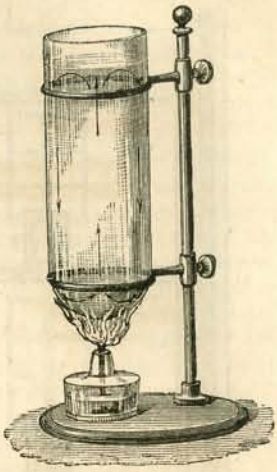


Fig. 251.

La caldaja *C*, scaldata da un focolajo, i di cui prodotti sfuggono dal camino *A B*, comunica colla parte superiore dell'edificio per mezzo di un tubo che sbocca nel serbatojo *D*. Il liquido si porta da questo nel serbatojo *F*, posto nel piano sottostante, dal serbatojo *F* ad un terzo *E*, e così di seguito. Finalmente l'ultimo comunica colla parte inferiore della caldaja. L'insieme della caldaja, dei tubi e dei serbatoj, è completamente pieno d'aqua, eccezione fatta di un piccolo spazio alla parte superiore, vuoto, allo scopo di lasciare libera azione alla dilatazione del liquido.

La corrente ascendente si stabilisce nel tubo a sinistra e, ad una temperatura determinata del generatore, la circolazione d'aqua calda assume una regolarità notevole.

275. Correnti marine. — I moti convettivi hanno un'azione, se non di primo ordine, almeno assai importante nella produzione delle correnti marine. Il mare infatti è un'immensa massa liquida le di cui diverse parti sono a temperature differenti. Ne segue l'impossibilità di equilibrio e di conseguenza un movimento continuo delle parti una rispetto all'altra. Le aque dei mari polari e quelle dei mari equatoriali sono in completa comunicazione fra loro ed il livello di queste ultime è costantemente più alto, in causa del loro eccesso di temperatura. Da questa circostanza nasce una specie di cascata continua del liquido all'equatore e, di conseguenza, una immensa corrente di aqua calda diretta verso i poli. Ma, evidentemente, a questa corrente deve corrispondere una corrente inferiore d'aqua fredda che va a riscaldarsi all'equatore, per riversarsi in seguito alla parte superiore, e così di seguito. È questo uno dei caratteri fondamentali della celebre corrente conosciuta col nome di *Gulf-stream*. Questa corrente d'aqua calda forma come un immenso fiume in mezzo al mare, differente dal mezzo nel quale scorre, e per la temperatura delle sue aque, e per la loro salsedine, e pel loro colore. Essa parte dal golfo del Messico, esce dallo stretto di Bahama, cammina verso il nord-est e si divide in due rami, dei quali, uno va ad addolcire la temperatura delle coste dell'Irlanda

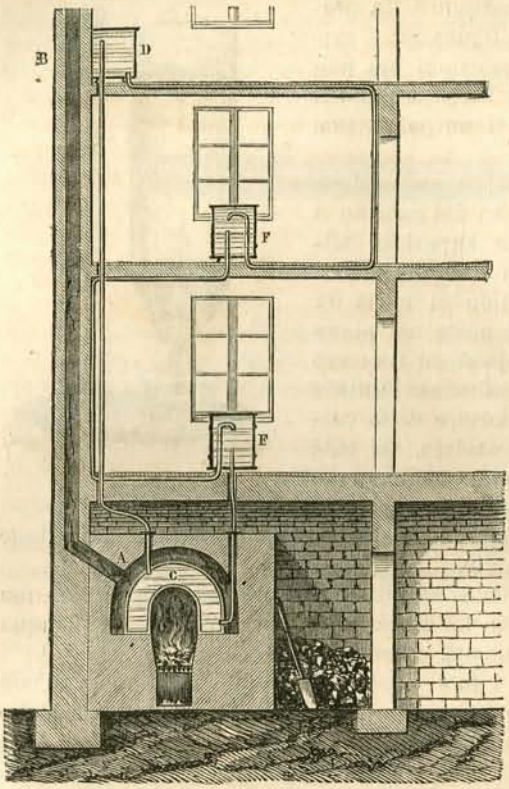


Fig. 253.

e della Norvegia. L'altro si piega gradualmente e finisce per ridiscendere l'atlantico da nord a sud e viene a perdersi nelle regioni equatoriali. I moti convettivi nelle aque dell' oceano intervengono senza dubbio alla formazione delle correnti, ma non in modo predominante; è specialmente alla azione dei venti, che del resto sono essi stessi effetto dei moti convettivi nell' atmosfera, che sono subordinati questi fenomeni così complessi.

Dilatazione dei gas.

276. Esperienza di Gay-Lussac. — Gay-Lussac ha fatto sulla dilatazione dei gas delle ricerche i di cui risultati rimasero per molto tempo classici. Gay-Lussac si serviva di un termometro a grosso serbatojo *A* (fig. 254) contenente il gas

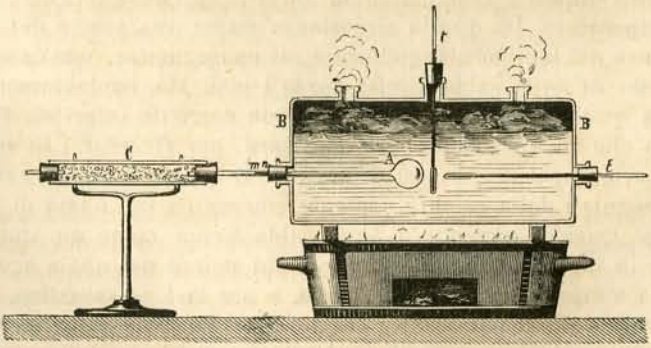


Fig. 254.

da esperimentarsi; un indice di mercurio $m\ n$ separa il gaz dall'esterno, lasciandogli in pari tempo tutta la libertà di dilatarsi. Il gas era d'altronde stato diseccato nel passare attraverso ad un tubo C contenente delle materie diseccanti, quale il cloruro di calce. Il termometro era posto nell'interno di una vasca $B\ B$ che si riempiva dapprincipio di ghiaccio fondente; il gas si contrae; si fa allora scorrere il tubo in modo che al momento dell'equilibrio di temperatura, l'indice arrivi al limite della tubulatura, cosichè tutta la massa di gas si trovi 0°. Il tubo essendo diviso in parti di eguali capacità ed il volume del serbatojo, essendo stato preventivamente misurato, si conosce il volume V che il gas occupa alla pressione esterna H, data da un barometro. Si porta allora l'apparecchio ad una data temperatura T, per mezzo di un fornello sul quale riposa la vasca, e si ha la precauzione di far scorrere l'asta del termometro in modo che al momento dell'equilibrio l'indice arrivi al limite della tubulatura. Il gas occupa sotto la nuova temperatura un volume V', espresso in divisioni del tubo; la pressione potrebbe essersi cambiata durante l'esperienza; supponiamo che sia diventata H'. Da questi dati è facile il dedurre la dilatazione dell'unità di volume del gaz da 0° a T, supponendo che la pressione non abbia cambiato. Infatti sia D questa dilatazione, il volume iniziale V del gas diventa a T, per definizione, $V\ (1 + D)$. Ma questo gas occupa alla pressione H' un volume V', che ricondotto alla pressione H, diventa $V' \frac{H'}{H}$.

D'altra, parte anche le divisioni si sono dilatate e ciascuna di esse è divenuta $1 + K\ T$, essendo K il coefficiente di dilatazione del vetro; l'espressione effettiva del nuovo volume del gas, ridotto alla pressione H, è dunque $\frac{V'(1 + K\ T)\ H'}{H}$ da cui si ha poi l'eguaglianza

$$V\ (1 + D) = V'\ (1 + K\ T) \frac{H'}{H}$$

dalla quale si deduce il valor di D e di conseguenza quello del coefficiente medio di dilatazione $\frac{D}{T}$.

Con questo metodo Gay-Lussac è arrivato alle seguenti conclusioni:

1.° Tutti i gas si dilatano di eguali quantità tra gli stessi limiti di temperatura.

2.° Il coefficiente di dilatazione è indipendente dalla pressione.

Egli trovò d'altra parte per coefficiente di dilatazione dell'aria tra 0° e 100° il numero 0,00375.

Queste leggi che, combinate con quelle di Mariotte, hanno servito per lungo tempo di definizione meccanica dello stato gasoso, non sono rigorosamente esatte e conviene loro applicare le stesse restrizioni usate nel caso della legge di Mariotte. In quanto al valore assoluto del coefficiente di dilatazione dell'aria, esso è sensibilmente erroneo; questo valore, dietro le esperienze più precise fatte in seguito, è dato dal numero 0,00366.

277. Esperienze di Regnault. — L'apparecchio impiegato da Gay-Lussac presentava una grave imperfezione: l'indice di mercurio costituisce una separazione insufficiente fra il gas sul quale si esperimenta e l'aria esterna; una parte del gas può sfuggire come pure una parte dell'aria può entrare e mescolarsi con esso. Forse anche il processo di dicseccazione non era abbastanza perfetto. La questione venne ripresa da diversi fisici. I signori Pouillet, Rudberg, Magnus, Regnault hanno eseguito in proposito esperienze rigorose, i di cui risultati arrecarono delle modificazioni alle conclusioni di Gay-Lussac.

Ecco uno dei metodi impiegati da Regnault.

L'apparecchio è costituito (fig. 254) da un pallone di vetro a collo affilato, contenente il gas; esso è posto in una caldaja nella quale si trova dell'aqua che si può portare all'ebollizione.

Un tubo a tre rami in forma di T pone in comunicazione il pallone, da una parte col sistema di due tubi contenenti del mercurio e costituenti un vero manometro ad aria libera, dall'altra parte con una serie di tubi disseccanti, in comunicazione essi stessi con una piccola pompa pneumatica. Sul primo ramo

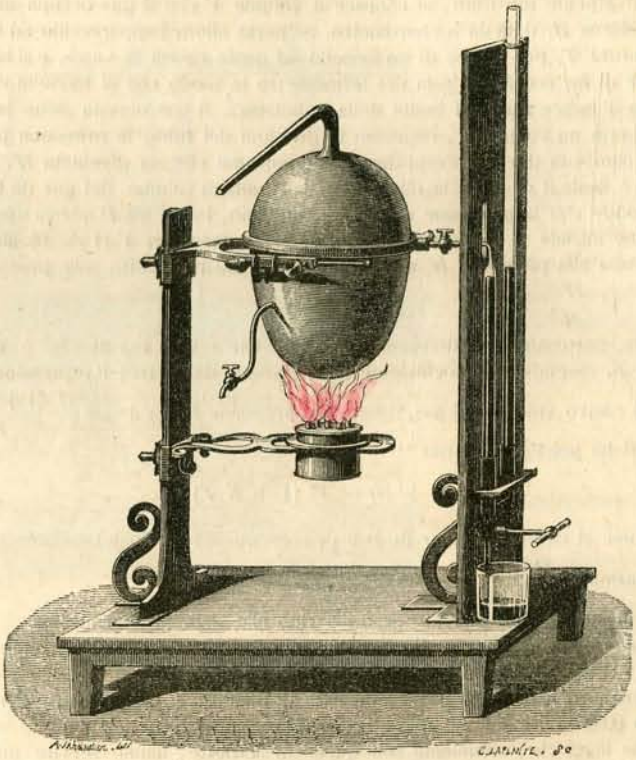


Fig. 254.

del manometro, e vicinissimo alla parte capillare del tubo, è segnato un punto di riscontro.

Ecco come si determina con questo apparecchio il coefficiente di dilatazione tra 0 e T, temperatura dell'aqua bollente:

Dappprima si fa, per un certo numero di volte, il vuoto nel pallone ed a ciascuna volta si lascia rientrare l'aria o il gas sul quale si vuol operare, facendoli passare pei tubi disseccatori; si può rendere questa disseccazione più pronta e più sicura scaldando il pallone. Questa serie di operazioni è, come l'ha provato Regnault, assolutamente necessaria per togliere le ultime particelle di umidità, le quali aderiscono tenacemente.

Il pallone così riempito, lo si circonda di ghiaccio fondente. Il gas si contrae e ne entra una nuova quantità nel pallone, ma questo gaz avendo attraversati i tubi disseccatori è perfettamente secco.

L'apparecchio è allora pieno di gas; lo si mette allora per qualche istante, per mezzo dei tubi, in comunicazione coll'atmosfera, in modo che il gas assuma la pressione esterna. Si aggiunge o si toglie del mercurio al manometro in modo che il livello, che è lo stesso nei due rami, corrsiponda al punto di riscontro. Si chiude allora, con un colpo di fiamma, l'estremità del piccolo tubo di vetro che stabilisce la comunicazione coi tubi disseccanti.

Con questa operazione si è dunque isolata una massa di gas alla pressione esterna H. Questa massa si compone:

1.° Di un volume V alla temperatura di 0°, V essendo il volume noto del pallone;

2.° Di un volume v, d'altronde assai piccolo, che si estende dal collo del pallone al punto di riscontro. Questo volume v si trova alla temperatura ambiente t e riconducendolo a 0° diverebbe $\frac{v}{1+\alpha t}$, essendo α il coefficiente di dilatazione del gas. Nella prima fase dell'esperienza si ha dunque una massa di gas che, ricondotta a 0°, occupa, sotto la pressione esterna H, il volume:

$$V+\frac{v}{1+\alpha t}$$

Ciò posto, si toglie il ghiaccio che circonda il pallone, si pone dell'aqua nella caldaia e la si porta alla ebollizione; il volume e la pressione del gas aumentano, il mercurio si abbassa nel primo ramo del manometro e si eleva nell'altro. Quando l'equilibrio di temperatura è stabilito, si versa del mercurio nel ramo aperto in modo da ricondurre il mercurio al punto di riscontro nell'altro ramo. Si stabilisce allora una differenza del livello h; la pressione esterna può d'altra parte essersi cambiata; sia divenuta H'; il gas è dunque sottoposto alla pressione $H'+h$. Il suo volume si compone di due parti:

1.° Il volume $V(1+KT)$ del pallone, posto K il coefficiente di dilatazione del vetro e T la temperatura dell'aqua bollente, al momento dell'esperienza:

Questo volume ridotto a 0° diventa: $\frac{V(1+KT)}{(1+\alpha T)}$

2.° Il volume v del tubo fino al punto di riscontro, ridotto a 0° diventa $\frac{v}{1+\alpha t'}$, supponendo che la temperatura ambiente sia divenuta t'. La massa di gas nella seconda fase dell'esperienza occupa dunque, sotto la pressione $H'+h$ e ridotta a 0°, il volume:

$$\frac{V(1+KT)}{1+\alpha T}+\frac{v}{1+\alpha t'};$$

si ha dunque, scrivendo, secondo la legge di Mariotte, che i volumi sono inversamente proporzionali alle pressioni, l'equazione seguente:

$$(H'+h)\left(\frac{V(1+KT)}{1+\alpha T}+\frac{v}{1+\alpha t'}\right)=\left(V+\frac{v}{1+\alpha t'}\right)H,$$

dalla quale:

$$1+\alpha T=\frac{V(1+KT)}{\left(V+\frac{v}{1+\alpha t}\right)\frac{H}{H'+h}-\frac{v}{1+\alpha t'}}$$

Per risolvere questa equazione si usa di un metodo spesso adoperato in fisica,

conosciuto col nome di *metodo delle approssimazioni successive*: v essendo una quantità assai piccola, la si suppone da principio nulla, si può allora cavare senza difficoltà il valore di α. Si sostituisce in seguito questo valore nei termini correttivi $\frac{v}{1+\alpha t}$, $\frac{v}{1+\alpha t'}$, e si deduce il vero valore di α T.

In quanto a T, temperatura di ebollizione dell'aqua, è sempre nota, come si vedrà in seguito, quando si conosce la pressione esterna.

Nell'esperienza ora destritta il gas conserva sensibilmente lo stesso volume e l'effetto del calore si manifesta coll'accrescimento di pressione. Si può anche operare in modo da lasciare libertà al gas di dilatarsi e conservare costante la pressione.

Senza descrivere l'apparecchio modificato che serve a quest'altro modo di esperimentazione, si fa osservare solamente che i risultati dati dai due metodi non sono assolutamente identici, come le mostra la tavola seguente:

Coefficienti di dilatazione di alcuni gas.

	Volume costante	Pressione costante
Aria	0, 005665	0, 005670
Azoto	0, 005668	"
Idrogeno	0, 005667	0, 005661
Ossido di carbonio	0, 005667	0, 005669
Acido carbonico	0, 005688	0, 005710
Protossido di azoto	0, 005676	0, 005720
Cianogeno	0. 005829	0, 005877
Acido solforoso	0, 005845	0, 005905

Dall'ispezione di questa tavola si scorge che tutti i gas hanno il loro proprio coefficiente di dilatazione, come possedono una loro propria legge di compressibilità. I gas assai difficilmente liquefacibili hanno però presso a poco lo stesso coefficiente di dilatazione, ciò che spiega la legge trovata da Gay-Lussac.

Si aggiunga che il coefficiente di dilatazione aumenta assai sensibilmente colla pressione; così, da una a tre atmosfere circa, il coefficiente di dilatazione dell'aria varia tra 0, 00567 e 0, 00569. L'aumento è ancora più sensibile pei gas facilmente liquefacibili.

278. Termometro ad aria. — Come si è detto a proposito dal termometro a mercurio, dicesi grado la centesima parte della dilatazione apparente del mercurio nel vetro. Le differenti qualità di vetro che servono alla costruzione dell'istrumento, non avendo la stessa legge di dilatazione, ne risulta, come si è detto, che i termometri a mercuuio non sono rigorosamente comparabili fra loro, specialmente al disopra dei 100 gradi.

La dilatazione dell'aria essendo assai più grande di quella del mercurio, le variazioni provenienti dalle diverse qualità di vetro sono assai meno sensibili, ed è appunto per questo motivo che i fisici hanno adottato il termometro ad aria per la misura delle temperature, nelle esperienze di precisione.

Qualunque apparecchio destinato alla misura della dilatazione dell'aria può servire da termometro; basta nell'espressione $1 + \alpha$ T di considerare T come incognito e di porre al posto di α il valore trovato tra 0° e 100° a volume costante, vale a dire 0, 00566.

Pouillet aveva proposto di adoperar l'aria come sostanza pirometrica ed aveva costruito, sotto il nome di pirometro ad aria, un istrumento col quale vennero eseguite alcune interessanti esperienze; il serbatojo dell'apparecchio era di platino, perciò le sue indicazioni non possono essere molto esatte, per la nota proprietà del

platino di condensare alla sua superfice dell'aria, che poi rende alle elevate temperature: di più, a queste temperature, il platino diventa permeabile ad alcuni fra i prodotti della combustione. Volendo utilizzare l'aria come sostanza pirometrica bisogna, come l'anno fatto i signori Deville e Troost, chiuderla in un pallone di porcellana.

279. Densità dei gas. — In causa della loro grande dilatabilità e compressibilità, i gas sono sottoposti a delle notevoli variazioni di volume al variare delle condizioni in cui si trovano. Gli è dunque necessario, quando se ne definisce la densità, di precisare con cura la pressione e la temperatura alla quale sono sottoposti. Ordinariamente si prende per termine di confronto il peso dell'aria e dicesi densità di un gas *il rapporto tra un certo volume di questo gaz alla temperatura* 0 *ed alla pressione di* 760 *millimetri, ed il peso di uno stesso volume d'aria alla stessa temperatura ed alla stessa pressione.*

Conosciuto questo rapporto, si potrà dedurre il peso di un volume qualunque di un dato gas, quando si sia misurato, una volta per tutte, il peso assoluto dell' unità di volume dell' aria in determinate condizioni di temperatura e di pressione. Così, per esempio, sapendo che la densità dell' ossigeno rispetto all' aria è 1,1056 e che il peso di un litro d'aria alla temperatura 0° e sotto la pressione di 760 millimetri è di 1, gr. 293, se ne deduce che il peso di 1 litro di ossigene, nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, è di 1, gr. 293 × 1,1056 = 1, gr. 429.

Se invece di assumere, per definire la densità relativa, la temperatura di 0° e la pressione di 760 mill., si fosse preso un'altra temperatura ed un'altra pressione, la densità sarebbe risultata un po' differente. Infatti sia p il peso di un certo volume di gas a 0° e sotto la pressione di 760 mill.; alla temperatura t ed alla pressione H il peso dello stesso volume diventa:

$$p \frac{1}{1+\alpha t} \cdot \frac{H}{760}. \qquad (a)$$

Egualmente, p' essendo il peso di un egual volume d'aria a 0° ed a 760 mill. il peso di questo volume a t ed alla pressione H è espresso da

$$p' \frac{1}{1+\alpha' t} \frac{H}{760} \qquad (b)$$

Il quoziente delle due espressioni (a) e (b) non è eguale a $\frac{p}{p'}$: 1.° perchè i due coefficienti α e α' hanno in generale un valore diverso, 2.° perchè il termine correttivo $\frac{H}{760}$ non è che approssimato, giacchè ciascun gas ha una legge propria di compressibilità. Se la legge di Mariotte e quella di Gay-Lussac si potessero applicare rigorosamente, si potrebbe definire la densità di un gas, *il rapporto tra il peso di un certo volume di questo gas ed il peso di uno stesso volume d'aria, nelle medesime condizioni di temperatura e di pressione.*

280. Misura della densità dei gas. — Molti fisici si sono occupati della misura della densità dei gas; ecco il metodo ingegnoso ed esatto adoperato da Regnault. Per recipiente destinato a contenere i gas si fa uso di un pallone a robinetto, della capacità di una dozzina di litri; lo si mette in comunicazione, per mezzo di un

tubo a tre vie munito di robinetti a e b (fig. 255), da una parte con una macchina pneumatica, dall'altra con un manometro ad aria libera. Si ripete parecchie volte il vuoto nel pallone, e, ad ogni volta, si lascia entrare il gas sul quale si opera, facendogli attraversare un certo numero di tubi di dissecca-zione, contenenti, per esempio, dei pezzetti di pietra pomice imbevuti di acido solforico. Quando si suppone che l'umidità sia completamente tolta, si circonda il pallone con ghiaccio fondente e lo si lascia riempire di gas alla pressione esterna. L'equilibrio di temperatura una volta stabilito, si leva il pallone, lo si asciuga con cura e lo si appende ad uno dei piatti di una bilancia. All' altro piatto si trova sospeso un pallone dello *stesso vetro* e dello stesso volume esterno (fig. 256). Si accerta l'eguaglianza di volume misurando direttamente la spinta, col pesare i palloni nell'acqua: si aggiunge la tara necessaria per stabilire l'equilibrio e si può constatare che questo equilibrio si mantiene in un modo rigoroso, qualunque sieno le variazioni della pressione e della temperatura esterna; giacchè queste variazioni producono un effetto identico sopra i due palloni. È appunto nell'impiego dei *palloni compensatori* che consiste l'originalità del processo di Regnault, col quale si ottiene una grandissima precisione; infatti, tutte le cause esterne facendosi equilibrio, le differenze di peso osservate non possono derivare che dalle variazioni del gas interno.

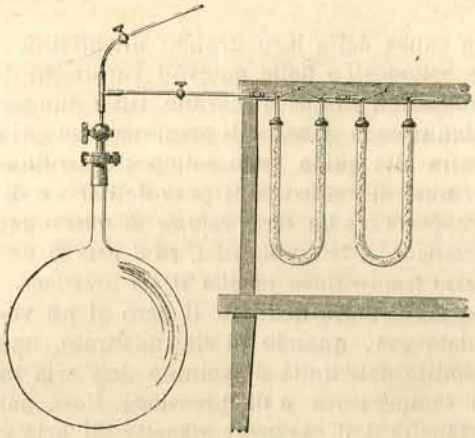


Fig. 255.

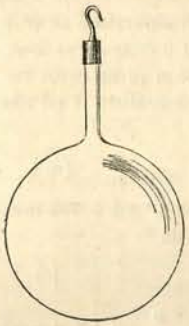


Fig. 256.

Ciò posto, si ricolloca il pallone nel ghiaccio, lo si pone in comunicazione colla macchina pneumatica e col manometro e si fa il vuoto fino ad un limite h. Quando si riappende il pallone alla bilancia, l'equilibrio è tolto ed il peso p necessario a ristabilirlo è evidentemente eguale al peso d' un volume di gas secco a 0° ed alla pressione $H - h$, H essendo la pressione esterna. Il peso del gas secco che riempirebbe completamente il pallone alla temperatura 0° ed alla pressione di 760 mill. sarebbe:

$$p \frac{760}{H - h}.$$

La stessa esperienza eseguita sull' aria, dà poi il peso di un egual volume di questo gas nelle stesse condizioni, quindi:

$$p' \cdot \frac{760}{H' - h'}.$$

La densità del gas sottoposto all'esperienza è dunque:

$$p \frac{760}{H - h} : p' \frac{760}{H' - h'} = \frac{p}{p'} \cdot \frac{H' - h'}{H - h}.$$

281. Peso di un litro d'aria. — Le esperienze precedenti forniscono il peso di aria secca che a 0° ed a 760 mill. di pressione riempie un dato pallone. Per avere il peso di un litro d'aria basta dunque conoscere il peso dell'aqua che riempie il pallone stesso ad una temperatura nota. Sia m la differenza di peso ottenuta nella pesata del pallone pieno d'aqua e pieno d'aria secca; il peso dell'aqua contenuta nel pallone sarà evidentemente m più il peso dell'aria secca già noto; sia a questo peso. Sia x il volume del pallone, e la dilatazione dell'aqua da 4° alla temperatura alla quale la pesata è stata fatta; si avrà la relazione

$$x \frac{1}{1+e} = m + a,$$

che dà il volume del pallone ad una temperatura nota, da cui si dedurrà il volume a 0°.

Occorrono cure minuziose per riempire il pallone di aqua assolutamente purgata d'aria e per essere ben sicuri della temperatura del volume considerevole di aqua su cui si opera. Queste difficoltà vennero superate da Regnault colla sua nota abilità ed egli potè così arrivare al risultato seguente:

A Parigi (al Collegio di Francia), all'altitudine di 60 *metri sul livello del mare, un litro d'aria secca, alla temperatura di* 0 *ed alla pressione di* 760 *mill. pesa* 1, *gr.* 2952. La pressione di 760 mill. di mercurio non ha effettivamente lo stesso valore nei diversi luoghi del globo, in causa delle variazioni nell'intensità della gravità; ne segue che il peso 1 litro d'aria, definito colle precedenti condizioni varia esso stesso col valore di g.

Dietro le esperienze di Regnault è facile di stabilire che: *alla latitudine media di* 45° *ed al livello del mare, il peso di* 1 *litro d'aria secca, alla temperatura di* 0° *e sotto la pressione di* 760 *mille è eguale ad* 1, *gr.* 2927.

Ecco una tavola delle densità di alcuni gas:

Nome del gas	Densità	Peso di un litro a 0° e 0m, 760
Ossigeno	1, 10563	1, 4298
Idrogeno	0, 06926	0, 08957
Azoto	0, 97137	1, 25615
Cloro	2, 4216	3, 1328
Ossido di carbonio	0, 9569	1, 2344
Acido carbonico	1, 52901	1, 9774
Protossido di azoto	1, 5269	1, 9697
Biossido di azoto	1, 0388	1, 3434
Acido solforoso	2, 1930	2, 7289
Acido solfidrico	1, 1912	1, 5363
Acido cloridrico	1, 2474	1, 5891
Idrogeno fosforato	1, 1840	1, 527
Cianogeno	1, 8064	2, 3302
Fluoruro di boro	2, 3124	3, 982
Fluoruro di silicio	3, 573	4, 645
Gas delle paludi	0, 559	0, 727
Gas olefacente	0, 985	1, 274
Gas ammoniaco	0, 5967	0, 7697

282. Tirata dei camini. — La dilatazione dell'aria ed il suo conseguente cambiamento di densità, produce il movimento di questo

fluido nei camini, vale a dire ciò che si dice *la tirata*. Infatti si può considerare la colonna d'aria contenuta nel camino, ed una colonna esterna di eguale altezza, come formanti un sistema di vasi comunicanti alla parte inferiore, per mezzo della bocca del camino stesso. Al disopra delle due colonne le pressioni hanno lo stesso valore; ma la temperatura della canna del camino essendo in media più elevata della temperatura esterna, ne segue che la colonna esterna possiede, relativamente all'interna, un eccesso di peso, in causa del quale l'aria fredda si precipita continuamente nel camino. La velocità colla quale questo movimento accade è evidentemente tanto più grande quanto più alta è la canna del camino.

Una delle cause più frequenti della cattiva tiratata è quella che

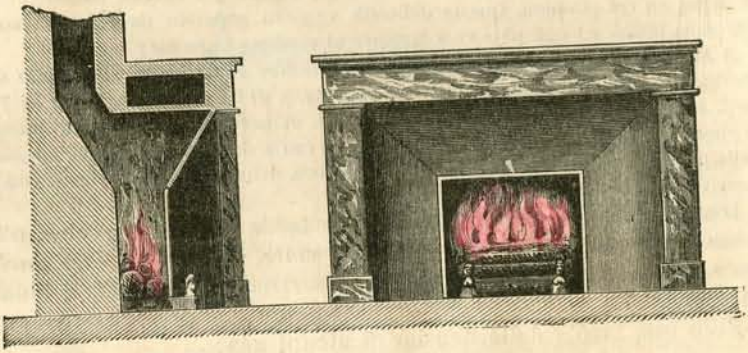


Fig. 258.

il camino abbia un'apertura troppo grande nella camera e, specialmente, troppo alta sopra il focolajo. Si capisce come, per questa apertura spalancata, dell'aria che non passa sul fuoco, e che di conseguenza non si scalda, s'introduce nel tubo ed abbassa la temperatura media della colonna ascendente. Evidentemente una sezione troppo grande della canna produrrebbe lo stesso effetto. Negli antichi camini questi difetti erano assai comuni. Rumford ha pel primo cercato di migliorarne razionalmente le condizioni. Egli ha, come mostra la figura 258, ridotta notevolmente l'apertura e la profondità del focolajo. D'altra parte, delle lastre levigate e disposte inclinate, dirigono l'aria sul fuoco e diffondono il calore nella camera.

La cortina o grembiale (fig. 259) indicata da L'Homond costituisce una miglioria notevole. Infatti, per mezzo di questo meccanismo, nessuna parte dell'aria può sfuggire all'azione del fuoco; si ha dunque un riscaldamento notevole della colonna ascendente, e di conseguenza un aumento notevole di velocità. La cortina permette d'altra parte di chiudere completamente il camino quando il fuoco è spento, e quindi di conservare per maggior tempo il calore al locale.

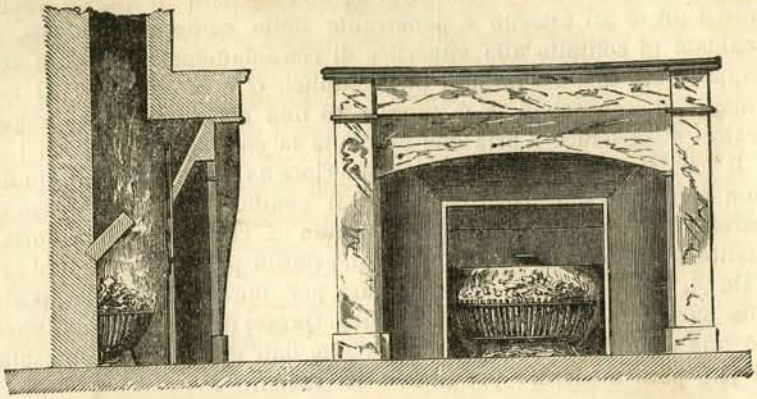


Fig. 259.

283. Stufe calorifere. — Nel riscaldamento per mezzo dei camini non si utilizza che il calore raggiante del combustibile, e la maggior parte di questo calore sfugge all'esterno senza effetto. Questo modo di riscaldamento, piacevole ed igienico, è dunque assai poco economico. Il riscaldamento colle stufe è all'opposto assai economico, giacchè restituisce in gran parte alla camera, per raggiamento, il calore assorbito dalle sue pareti. Esse però hanno il grave inconveniente di non dare sufficiente ricambio all'aria; diminuiscono pure in modo dannoso lo stato igrometrico dell'aria, originando così una rapida ed affaticante evaporazione alla superfice del corpo e negli organi della respirazione. Gli è per attenuare quest'ultimo inconveniente che si pone sulla stufa un vaso contenente dell'aqua, destinata a rendere all'aria un conveniente grado di umidità. Gli apparecchi, oggigiorno assai sparsi, conosciuti col nome di stufe calorifere, sono assai migliori delle stufe ordinarie; producono il rinnovamento dell'aria chiamando,

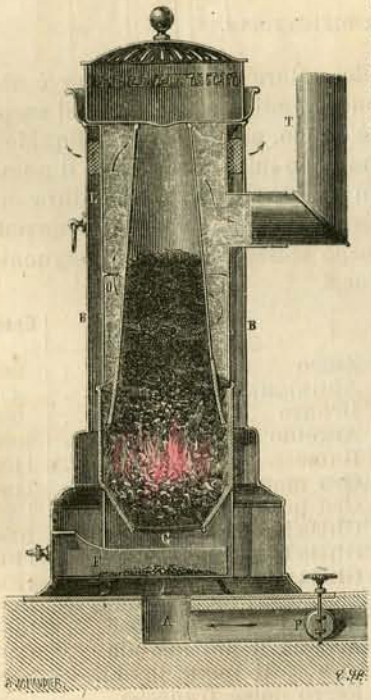


Fig. 260.

con mezzi del resto assai diversi, una corrente di questo fluido fresco preso all'esterno e penetrante nella camera dopo essersi scaldato in contatto alla superfice di riscaldamento. La figura 260 rappresenta uno dei sistemi più semplici. *G* è la griglia, *U* il focolajo; il ceneratojo *F* è munito di una porta traforata, e pei trafori s'introduce l'aria che alimenta la combustione.

Il focolajo è chiuso alla parte superiore da un coperchio, il quale non vien tolto che per introdurvi il combustibile. Una seconda parete *B* determina uno spazio ristretto *L* che si riscalda fortemente. Questo spazio comunica coll'esterno per mezzo di un canale *A*, e coll'interno della camera per mezzo di bocche poste alla parte superiore dell'apparecchio. Questa disposizione dà luogo ad una corrente assai viva proveniente dall'esterno, corrente che si può però moderare per mezzo del registro *P*.

CAPITOLO III.

FUSIONE E SOLIDIFICAZIONE.

284. Fusione. — Quando l'azione del calore su di un corpo è abbastanza intensa, arriva un momento in cui lo stato fisico del corpo cambia; se, per esempio, il corpo è solido, passa allo stato liquido e si dice che esso fonde. Questo fenomeno importante porta il nome di *fusione*. Esso accade, per ciascun corpo, ad una temperatura determinata e specifica, che costituisce un elemento fisico essenziale per la conoscenza completa del corpo stesso. La tavola seguente dà il punto di fusione di alcuni corpi.

	Gradi		Gradi
Mercurio	—39	Zinco	360
Ghiaccio	0	Antimonio	432
Burro	33	Bronzo	900
Sego	33	Argento puro	1000
Bianco di balena	49	Rame	1150
Stearina	55	Oro monetario	1180
Cera gialla	62	Oro puro	1250
Cera bianca	68	Ghisa bianca molto fusibile	1050
Acido stearico	70	Ghisa bianca poco fusibile	1100
Fosforo	44	Ghisa grigia molto fusibile	1100
Potassio	63	» » 2.ª fusione	1200
Sodio	95	Ghisa con Manganese	1250
Jodio	107	Acciajo il più fusibile	1300
Solfo	110	» il meno fusibile	1400
Stagno	230	Ferro dolce francese	1500
Bismuto	562	Ferro battuto inglese	1600
Piombo	320	Platino	2000

Alcuni corpi, il carbone per esempio, hanno resistito finora a tutti i tentativi diretti a farli passare allo stato liquido; ciò non deve attribuirsi che alla insufficienza dei mezzi finora posseduti e non può alterare la generalità del principio che tutti i corpi, a seconda della temperatura a cui si trovano, possono presentarsi allo stato solido, liquido e gasoso. Si osservi inoltre, che il corpo sottoposto alla esperienza può decomporsi ad una temperatura inferiore a quella a cui avrebbe luogo la fusione. Se, per esempio, si tenta di fondere il marmo ponendolo sopra un fuoco intenso, questa sostanza, la quale non è altro che carbonato di calce, lascia sviluppare ad un certo momento il suo acido carbonico, e non rimane che la calce; ma se si ha cura di chiudere la sostanza in un vaso di piccola capacità, una parte solamente si decompone, e, sotto la pressione esercitata dal gas sviluppatosi, un'altra parte si conserva intatta e può essere ridotta allo stato di liquido. Un gran numero di esperienze di questo genere vennero fatte, gli è già circa un secolo, dal fisico Halles ed hanno dato dei risultati assai interessanti.

Il passaggio dallo stato solido al liquido si fa ordinariamente in modo brusco; ma non sempre accade così. Il vetro, per esempio, prima di raggiungere lo stato liquido completo, passa per una serie di stati intermedi, ne' quali presenta una consistenza pastosa, che permette di ridurlo in fili estremamente fini, di soffiarlo e di dargli facilmente le forme le più svariate. Questa proprietà è la base fondamentale della fabbricazione dei vetri; il vetro non viene usato per colatura che in casi abbastanza ristretti.

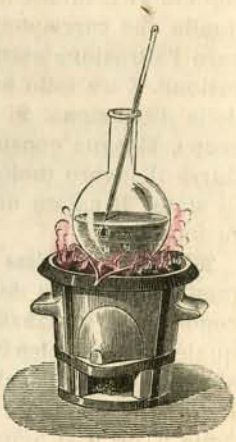


Fig. 261.

285. Costanza della temperatura durante la fusione. — Durante tutto il tempo per cui dura la fusione, la temperatura rimane costante. Così, se si pone sopra il fuoco un vaso contenente del ghiaccio, questo si fonde tanto più rapidamente quanto più il fuoco è intenso; ma, se si ha la precauzione di agitare il miscuglio di ghiaccio e di liquido, un termometro che vi sia immerso accuserà invariabilmente la temperatura zero; non è che allorquando tutto il ghiaccio sarà fuso che la temperatura si eleverà.

Parimenti, si scaldi dello solfo contenuto in un pallone di vetro; la temperatura accusata da un termometro si eleverà gradualmente fino a raggiungere 110° circa. A questo momento si vede

una porzione di solfo passare allo stato liquido, ed, agitando mentre la fusione si opera e fino a che essa sia compiuta, si riconosce che la temperatura rimane invariabile (fig. 261).

286. Calore di fusione. — Questo curioso fenomeno ha dato origine ad importanti conseguenze. Infatti, il fuoco essendo in attività, fornisce continuamente del calore il quale, dal momento che il termometro rimane stazionario, sembra scomparire; se ne conclude che un corpo per passare dallo stato solido allo stato liquido ha bisogno di una certa quantità di calore; questo calore quindi non produce effetto termometrico. Gli antichi fisici, i quali supponevano che il calore fosse una specie di fluido assai sottile e imponderabile, cui davano il nome di *calorico*, chiamavano calorico *latente* (da *latere* esser nascosto) la parte di questo fluido che produce la fusione e non produce azione sul termometro. Anche ponendosi al loro punto di vista, l'espressione è assai impropria, giacchè, il passaggio dallo stato solido allo stato liquido è qualche cosa di altrettanto visibile ed apparente quanlo il cambiamento di temperatura. Il calorico che produce il cambiamento di stato non è dunque niente affatto nascosto, solamente esso si manifesta con un fenomeno differente da quello mediante il quale si riconosce ordinariamente la sua azione.

A seconda delle idee più razionali che si hanno oggidì sulla natura del calore, si ammette che nel passaggio dallo stato solido al liquido vi è infatti una certa parte di calore che scompare, ed è quella che corrisponde al lavoro meccanico necessario per modificare l'attrazione esistente fra le molecole del solido e produrre la fusione. È un fatto analogo a quello di cui si è parlato a proposito della dilatazione. Si deve dunque ammettere che, per fondere un corpo, bisogna consumare una certa quantità di calore, onde produrre il lavoro molecolare speciale che costituisce il cambiamento di stato. Il calore necessario a questo scopo vien detto calore di fusione.

287. Calore di fusione del ghiaccio. — Il calore di fusione è naturalmente specifico e deve essere in maggiore o minore quantità a seconda della sostanza di cui si tratta. L'esperienza seguente, della quale la prima idea è dovuta a Black, permette di misurare approssimativamente il calore di fusione del ghiaccio. Si prende un chilogrammo di ghiaccio a 0° e vi si versa sopra un chilogrammo di aqua a 79° e si agita rapidamente. Il ghiaccio fonde e si ottengono due chilogrammi di aqua a 0°. Questa interessante esperienza prova che tutto il calore necessario per elevare la temperatura dell'aqua da 0° a 79°, venne impiegata a fondere un chilogrammo di ghiaccio; essa mostra dunque in modo diretto che, per fondere un chilogrammo di ghiaccio, occorre la stessa quantità di calore

come per elevare la temperatura di un chilogrammo d'aqua da 0° a 79°.

I fisici danno il nome di *caloria* alla quantità di calore necessaria per elevare la temperatura di un chilogrammo d'aqua da 0° ad 1°. Per fondere un chilogrammo di ghiaccio è dunque necessaria una quantità di calore press'a poco eguale a 79° calorie.

Come venne descritta, l'esperienza non è suscettibile di dare un risultato rigorosamente esatto, essendo perciò necessarie delle minuziose precauzioni. La si accenna solamente come mezzo di far concepire il modo col quale venne determinato il calore di fusione del ghiaccio.

Comparando il calore di fusione del ghiaccio a quello di qualche altro corpo, si troverà il primo notevolmente superiore agli altri. Il ghiaccio è dunque fra tutti i corpi solidi il più *difficile a fondersi*, intendendosi con questa proposizione, singolare a primo aspetto, che è il corpo che consuma nel fondersi la più grande quantità di calore: anzi ne consuma una quantità assai considerevole. Questo fatto ha una grande importanza nella natura; esso ci spiega la lentezza colla quale si compie il disgelo. Questa lentezza è salutare, giacchè, se tutta la massa di ghiaccio o di neve che si è accumulata durante i freddi rigorosi, passasse ad un tratto allo stato liquido, ne risulterebbero degli immensi disastri. Nelle condizioni in cui si compie, il disgelo è ancora qualche volta spaventevole, sebbene per ogni chilogrammo di ghiaccio fuso occorra una quantità di calore eguale a 79 calorie.

Da ial fatto risulta una graduale e sensibile diminuzione della quantità di calore agente, e quindi una variazione meno pronunciata della temperatura esterna.

288. Dissoluzione. — Il passaggio dallo stato solido allo stato liquido può accadere anche senza l'azione diretta del fuoco, vale a dire per mezzo dell'azione di un liquido. E ciò che accade, per esempio, quando si pone un pezzetto di zuccaro o di sale nell'aqua; si dice allora che questi corpi si *sciolgono* nell'aqua. Questo fenomeno, la di cui l'analogia colla fusione è incontestabile, porta il nome di dissoluzione. La dissoluzione si effettua più o meno facilmente a seconda della temperatura, e non esige una temperatura fissa come la fusione. Il lavoro molecolare proprio alla dissoluzione non appare identico a quello della fusione, o almeno non si saprebbe assicurarlo; ma è sempre però un lavoro reale che deve per conseguenza dar luogo al consumo di una certa quantità di calore.

Se, per esempio, si scioglie rapidamente un corpo solido nell'aqua, si osserva in generale un abbassamento di temperatura. Questo abbassamento può essere qualche volta considerevole; così la dissoluzione del nitrato d'ammoniaca in un peso eguale al suo di aqua, può far discendere la temperatura di 20° a 25°.

289. Mescolanze refrigeranti. — Su questo principio riposa la composizione dei miscugli refrigeranti. Questi miscugli sono formati da sostanze, delle quali, una almeno, è solida, e tali che per la loro mutua azione, passano allo stato liquido, producendo necessariamente un abbassamento di temperatura.

Nei laboratori s'impiega spesso il miscuglio di ghiaccio e sale comune, nelle proporzioni di due parti della prima sostanza ed una della seconda; si ottiene assai facilmente con questo mezzo una temperatura tra 15° e 18° sotto zero. In questo miscuglio si ha ad una volta, fusione del ghiaccio, e dissoluzione del sale nel liquido formatosi, ciò che occasiona un doppio assorbimento di calore.

Si può servirsi di miscugli non contenenti il ghiaccio e si ottiene così un mezzo spesso adoperato per congelare artificialmente l'aqua. A questo scopo vennero costruiti diversi apparecchi per uso dell'economia domestica, che portano il nome di ghiacciaje di famiglia.

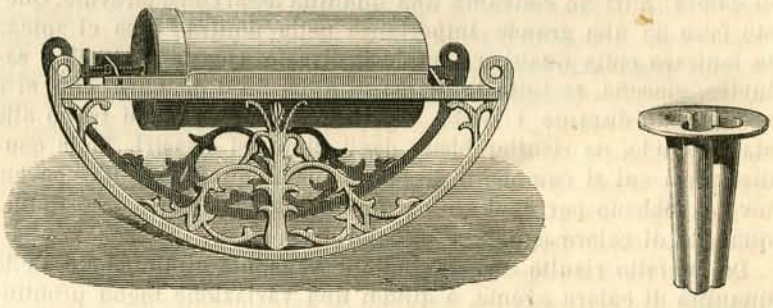


Fig. 262.

La fig. 262 rappresenta una ghiacciaja ad altalena. Essa è costituita da un cilindro metallico contenente il miscuglio refrigerante (acido cloridrico e solfato di soda). Nel cilindro si colloca uno stampo formato da due superficii concentriche, contenenti nel loro intervallo l'aqua da congelarsi; disposizione questa che ha per iscopo di moltiplicare i punti di contatto dell'aqua da congelare col miscuglio. L'apparecchio è collocato sopra un telajo, col quale gli si può imprimere un movimento d'altalena, che attiva assai l'operazione. Nella tavola che segue sono indicate le mescolanze refrigeranti le più usate, colle proporzioni che corrispondono al massimo effetto. Queste proporzioni hanno evidentemente influenza, giacchè la quantità di calore assorbito in un dato tempo, dipende dalla quantità di materia che passa allo stato liquido. Può aver luogo d'altronde un'azione chimica tra le sostanze agenti, la quale dà sempre luogo ad uno sviluppo di calore; il senso del

fenomeno finale dipende dalla predominanza dell'uno o dell'altro degli effetti inversi. Così, il miscuglio di quattro parti di acido solforico e di una parte di ghiaccio, dà origine ad un elevamento di temperatura di 50° a 60°, mentre che quattro parti di ghiaccio ed una di acido, producono un raffreddamento di — 15° a — 20°.

Mescolanze refrigeranti.

	Proporzioni	Abbassamento di temperatura
Neve o ghiaccio pesto	2	da 0° a — 21°
Sal marino	1	
Neve	3	da 0° a — 48°
Cloruro di calcio idrato	4	
Nitrato d'ammoniaca	1	da + 10 a — 15°
Aqua	1	
Cloridrato d'ammoniaca	5	da + 10° a — 15°
Nitrato di potassa	5	
Solfato di soda	8	
Aqua	16	
Solfato di soda	8	da + 10° a — 17°
Acido cloridrico	5	

290. Solidificazione. — La solidificazione è il fenomeno inverso della fusione, è il passaggio allo stato solido di un liquido del quale si abbassi gradualmente la temperatura. Questa trasformazione deve pure considerarsi come generale, sebbene qualche liquido, come l'acool assoluto, il solfuro di carbonio, non siensi ancora potuti solidificare. Teoricamente, per un dato corpo, la temperatura di solidificazione è la stessa di quella di fusione; così, si può indifferentemente dire che l'acqua si congela a 0°, o che il ghiaccio fonde a 0°. Ciononpertanto, quando una massa liquida venga abbandonata a sè stessa, se è in piccola quantità e si ha cura di sottrarla e qualsiasi agitazione, essa può raffreddarsi notevolmente al disotto del punto di fusione, senza solidificarsi. Questo fenomeno, conosciuto col nome di surfuzione, si osserva facilmente quando il liquido si trova in vasi assai stretti. Ma in questo stato, la più piccola agitazione, il contatto con una particella del solido che si deve formare, determinano immediatamente la solidificazione.

291. Calore sviluppato nella solidificazione. — Al momento in cui la solidificazione ha luogo, il termometro risale immediatamente alla temperatura del punto di fusione. Si eseguisce facilmente l'esperienza facendo uso di un piccolo vaso di vetro contenente dell'aqua, nella quale sia immerso il serbatoio di un termometro a mercurio. Per mezzo di un miscuglio frigorifero si abbassa facilmente la temperatura dell'aqua fino a 10° o 12° sotto 0°, senza che l'aqua si

congeli. Si dà allora una scossa un po' brusca all'istrumento, accade la solidificazione, ed il mercurio risale a 0°.

Questo sviluppo di calore è la conseguenza naturale del fatto che, pel ritorno delle molecole alle posizioni volute dallo stato solido, è necessario un lavoro delle forze interne il qual lavoro si trova trasformato in calore. Questa quantità di calore è evidentemente la stessa di quella scomparsa nella fusione, giacchè essa corrisponde ad un egual lavoro effettuatosi in senso inverso. Si spiegava questo fatto colla teoria del calore latente, dicendo che il calore ridiventava libero e sensibile. Si può rendere sensibile questa produzione di calore con un'altra forma di esperienza.

Si scaldi una certa massa di piombo fino alla sua temperatura di fusione (320°), avendo cura di fermarsi prima che la fusione incominci od al momento in cui è appena incominciata, e si immerga questa massa in una certa quantità d'aqua, per esempio, a 10°; la temperatura dell'aqua si eleverà di una certa quantità. Si ripeta l'esperienza con una stessa massa di piombo completamente fuso, ma però alla temperatura di 320 gradi, si osserverà nell'aqua un aumento di temperatura assai più sensibile.

292. Cristallizzazione. — Quando il passaggio dallo stato liquido al solido ha luogo lentamente, accade spesso che le molecole si aggruppino in modo da dar luogo ad un solido di forme regolari e geometriche: il fenomeno dicesi cristallizzazione ed il corpo regolare ottenuto dicesi cristallo. La forma cristallina presentata da una sostaza è strettamente legata alla natura della sostanza stessa e può servire a farla riconoscere; è dunque un carrattere assai importante e che, pei corpi del regno inorganico, equivale, per così dire, alla forma negli esseri organizzati. Per mettere in evidenza la forma cristallina di un corpo che passa dallo stato liquido allo stato solido, si opera nel modo seguente: Si suppoga, per esempio, che si tratti del bismuto; lo si fa fondere dapprima in una capsula e lo si abbandona poi a sè stesso. Naturalmente la solidificazione accade prima di tutto nelle parti in contatto colle pareti ed alla superfice libera, parti che risentano più direttamente l'azione raffreddante esterna; ne consegue che, allorquando lo strato superiore si è appena solidificato, una parte del metallo all'interno è ancora allo stato liquido. Se a questo momento si leva la crosta superiore e si versa il bismuto ancora liquido, si vedranno le pareti della capsula rivestite da una quantità di cristalli in forma di tramoggia, di un bellissimo effetto. Se si aspettasse troppo tempo, tutta la massa solidificandosi, i diversi cristalli si compenetrebbero mutuamente e non si potrebbe osservare alcuna forma cristallina. Un gran numero di solidi si trovano in questo caso; il ghiaccio ne offre un esempio assai curioso.

293. Fiori di ghiaccio. — La tendenza del ghiaccio ad assumere la forma cristallina è resa sensibile dai disegni a foglie di felce che si osservano sopra i vetri delle finestre nell'inverno, quando l' aqua vi si congela; questa tendenza è sopratutto notevolmente indicata dalla simmetria delle figure che presentano i fiocchi di neve. Ciò non ostante, in un pezzo di ghiaccio, questa struttura non si presenta affatto in causa dell'intralciamento o saldamento dei cristalli gli uni cogli altri, e si può dire che questa sostanza in massa sembra *amorfa*. Tyndall è però riuscito, con un' interessantissima esperienza, a *decristallizzare*, per così dire, del ghiaccio in modo graduale, ed a mostrare gli elementi cristallini di cui si compone.

Si prende una lastra di ghiaccio, tal quale si forma naturalmente in inverno alla superfice delle aque, e, perpendicolarmente alle facce di congelazione, vi si fa arrivare un fascio di luce solare. Una lente posta al di là della lastra di ghiaccio (fig. 263) per-

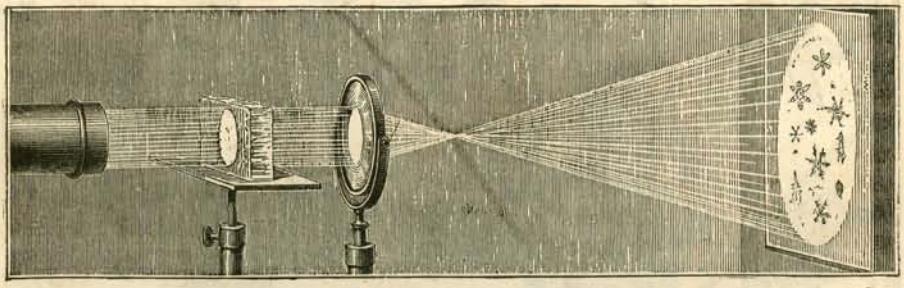


Fig. 263.

mette di proiettare sopra uno schermo l' immagine di quanto si passa nell' interno del ghiacchio. La figura 264 mostra le apparenze che si osservano successivamente sopra lo schermo. Gli è dapprima un piccolo cerchio luminoso dal quale si diramano dei raggi formati come i petali di un fiore dei quali il cerchio sarebbe il pistillo. Numerose alterazioni si producono poi sui rami stessi, i quali si frastagliano spesso in modo da rappresentare delle foglie di felce, analoghe a quelle che si producono sopra i vetri delle finestre. In questa esperienza il calor solare, invece di fondere uniformemente la massa di ghiaccio, ciò che avrebbe certamente luogo se questa fosse amorfa, agisce successivamente sui diversi cristalli intralciati, e nell' ordine stesso in cui essi si sono formati; ne nascono degli spazii regolari pieni d'aqua. Questa, assorbendo maggior quantità di luce del ghiaccio, dà luogo a delle immagini relativamente oscure. Il centro di questa immagine è generalmente brillante perchè corrisponde ad uno spazio vuoto, derivante dal minor spazio occupato dall'aqua rispetto al ghiaccio che l'ha prodotta.

294. Sursaturazione. — La proporzione di materia solida che un liquido può tenere in dissoluzione è variabile secondo la temperatura; spesso, sebbene il fatto non sia assolutamente generale, aumenta colla temperatura. Ne segue, che se si abbandona a sè stessa una dissoluzione satura, l'evaporazione ed il raffreddamento avranno per effetto di diminuire gradualmente la proporzione di materia che può restar disciolta; l'eccesso passerà dunque allo stato solido e, generalmente, sotto forma di cristalli. È questo un processo assai generale di cristallizzazione, detto processo per via

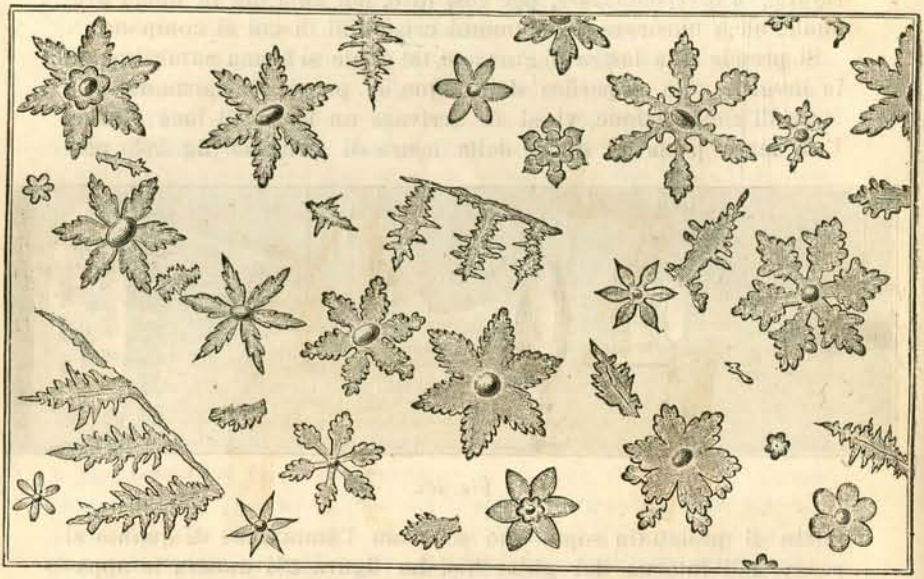


Fig. 264.

umida. In questo caso si può produrre un fenomeno affatto analogo alla surfusione.

Si introduce in un tubo affilato alla parte superiore (fig. 265), una dissoluzione calda, si fa bollire e si chiude il tubo alla lampada, nel momento in cui il liquido è in piena ebollizione; con questo artificio l'aria viene espulsa dall'apparecchio. La dissoluzione, abbandonata a sè stessa, si raffredda gradualmente senza che il solido si deponga, e ciò ad onta che essa sia soprasatura. Ma se si spezza la punta del tubo, l'aria s'introduce e la cristallizzazione cominciando subito, dalla superfice si propaga sino al fondo del tubo; contemporaneamente si produce, come si dovea aspettarselo un elevamento assai sensibile di temperatura. Se l'accesso dell'aria non determinasse il fenomeno, lo si produrrebbe

senza dubbio proiettando un piccolo frammento di soda cristallizzata nella dissoluzione.

295. Cambiamento di volume al momento della solidificazione. — Forza espansiva del ghiaccio. — Quando un corpo passa dallo stato liquido allo stato solido, si manifesta ordinariamente una diminuzione di volume; fanno però eccezione il ghiaccio, il bismuto, l'argento e la ghisa. In causa di questa circostanza, quest'ultima sostanza è in modo particolare propria al modellamento, giacchè questa pro-

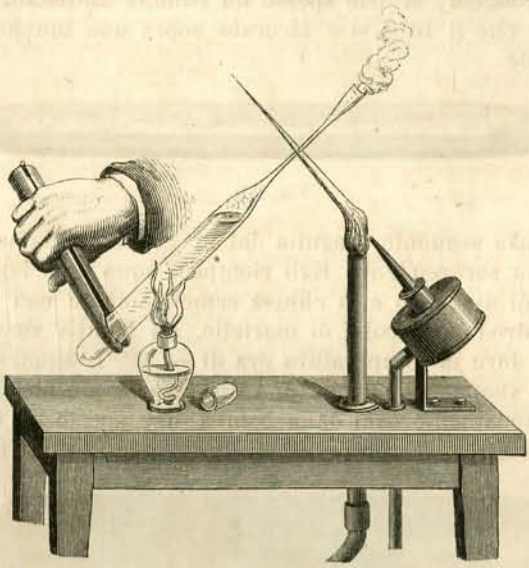


Fig. 265.

prietà le permette di riempire completamente tutti i dettagli dello stampo. La dilatazione del ghiaccio è considerevole, è circa di $^1/_{14}$. Si produce d'altronde con una forza meccanica assai intensa, comparabile a quella che accompagna il fenomeno generale della dilatazione. Gli è perciò che nell'inverno, al momento dei grandi freddi, possono accadere diversi accidenti. I vasi, i tubi di condotta sono spesso spezzati, le pietre di costruzione possono fendersi in causa della congelazione dell'aqua di cui sono impregnate. Quando i geli sono molto forti, molte specie di vegetali possono essere compromesse, come lo si è constatato per la vite, pei gelsi, per gli olivi, negli inverni molto rigorosi; ma i geli più terribili sono quelli tardivi, alla primavera, allorquando i succhi sono già in movimento e le giovani gemme sono già comparse. I disastri che si producono spesso a quest' epoca, sono senza dubbio dovuti in

parte alla proprietà espansiva del ghiaccio, ma dipendono pure dall' azione propria del freddo, che i giovani organi dei vegètali non possono sopportare senza perire.

Nei corsi di fisica si rende sensibile la forza espansiva del ghiaccio colla seguente esperienza:

Si riempie d' aqua un robusto tubo di ferro fuso (fig. 266), che vien poi chiuso ermeticamente con un tappo a vite e posto in un miscuglio refrigerante di ghiaccio e sale. Dopo qualche tempo l'aqua si congela, si ode spesso un rumore abbastanza inteso e si constata che il tubo si è lacerato sopra una lunghezza più o meno grande.

Fig. 266.

L'esperienza seguente, eseguita dal maggiore Williams a Quebec, è ancora più sorprendente. Egli riempì d' aqua una bomba di 30 centimetri di diametro e la chiuse ermeticamente con un tappo di legno, introdotto a colpi di martello. La bomba venne esposta all'esterno, dove la temperatura era di — 28°. L' aqua si congelò ed il tappo venne lanciato ad una distanza di più che 100 metri; contemporaneamente uscì dalla bomba una specie di cilindro di ghiaccio di circa 20 centimetri di lunghezza. In un altra espe-

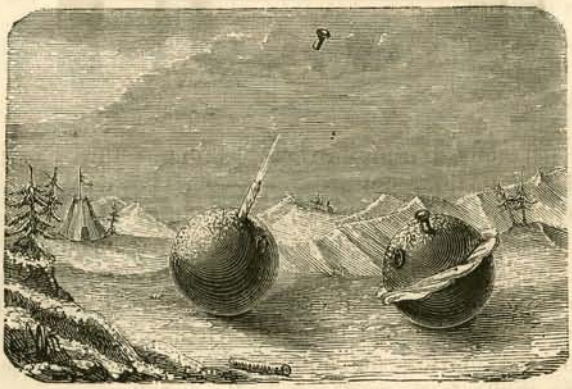


Fig. 267.

rienza la bomba si spaccò in giro, lasciando uscire una lamina di ghiaccio in tutta l'estensione della spaccatura (fig. 267).

È appunto alla sua espansione che il ghiaccio deve la proprietà di galleggiare sull'aqua. Questa circostanza permette al ghiaccio di

subire, subito appena che si manifestino, le impressioni calorifiche che ne producano il disgelo; in caso diverso, esso si accumulerebbe al fondo delle aque, dove, in causa della cattiva conduttività del liquido, esso potrebbe rimanere per moltissimo tempo, costituendo e per la sua massa, e per la sua temperatura, un ostacolo dannoso allo sviluppo degli esseri organici di qualunque specie, che vivono in seno all'aqua.

296. Influenza della pressione sul punto di fusione. — Siccome il ghiaccio fondendo diminuisce di volume, vi deve essere necessariamente una spesa di lavoro esterno, dovuto alla pressione agente alla sua superfice. Si svilupperà dunque una certa quantità di calore, che contribuisce in parte alla fusione e diminuisce di altrettanto quello necessario per produrre il cambiamento di stato. Quando la pressione esterna è debole si può trascurarne l'effetto; ma non è più lo stesso quando questa pressione sia considerevole, e si è condotti ad ammettere che, col mezzo di una pressione energica, si deve poter fondere il ghiaccio ad una temperatura inferiore a 0° Questa conseguenza importante venne verificata dal sig. W. Thomson mediante un apparecchio analogo al piezometro di Œrstedt; egli ha provato che una pressione di 16 atmosfere poteva abbassare la temperatura di congelazione di circa 0°, 1. Questa variazione è assai piccola e si potrebbe esitare ad ammetterla; ma altre esperienze fatte dal sig Mousson, nelle quali furono usate pressioni enormi, pongono il fatto fuori di dubbio.

Il sig. Mousson si serve di un prisma in acciajo forato da un condotto in tutta la sua lunghezza (fig. 268). Una delle estremità è chiusa da un tappo conico fortemente trattenuto a vite; all'altra estremità può innoltrarsi nella cavità una specie di stantuffo, lavorato a vite alla parte superiore. Si capovolge l'apparecchio, e dall'apertura inferiore vi s'introduce, dell' aqua recentemente bollita, ed un piccolo indice metallico, che, naturalmente, cala a fondo. Si fa congelare la massa liquida, si adatta il tappo conico e, dopo aver raddrizzato l'apparecchio, lo si pone in un miscuglio refrigerante a 18 o 20° sotto zero. Si agisce sullo stantuffo per mezzo di una leva e si comprime fortemente il ghiaccio; Mousson valuta la pressione esercitata in qualcuna delle sue esperienze, a più migliaia di atmosfere. Facendo cessare la pressione, l'aqua si congela, e togliendo il tappo si trova l'indice metallico in contatto immediato con esso. Se ne conclude necessariamente che il ghiaccio deve essersi fuso, giacchè non è che a questa condizione che l'indice può passare dalla parte superiore all'inferiore della cavità.

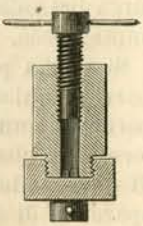


Fig. 268.

Quando un corpo si dilata liquefacendosi, ciò che accade ordinariamente, si ha un lavoro esterno compito dalle forze molecolari, e per conseguenza una scomparsa di calore. Se dunque si aumenta la pressione agente sulla superfice, il lavoro diventa più grande, e occorrerà maggior quantità di calore per produrre il passaggio allo stato liquido; contrariamente dunque a quanto accade pel ghiaccio, l'aumento di pressione dovrà elevare il punto di fusione. Questo fatto venne verificato dal sig. Bunsen sulla cera, sul grasso di balena, e sulla paraffina.

297. Regelo. — Le osservazioni precedenti permettono di rendersi una ragione sodisfacente di alcune proprietà del ghiaccio, che finora erano veramente oscure. Così, il ghiaccio è un corpo essenzialmente *scorrevole* e, qualunque sia lo stato della sua superfice, l'attrito vi è sempre notevolmente debole. Ciò può concepirsi facilmente ammettendo che un corpo collocato sul ghiaccio vi determina, colla sua pressione, la formazione di una pellicola liquida, agente a modo di sostanza lubrificante.

La potenza dell'aqua a diminuire l'attrito è oggigiorno conosciuta per mezzo di diverse esperienze. Basterà citare il saggio di ferrovia costruito dal sig. Girard alla Jonchère. In questo sistema, il rotolamento è sostituito dal scivolamento di pattini sopra guide piatte, con interposizione di una lamina d'aqua. Prove più dirette, d'introduzione forzata d'aqua tra gli organi sfregantisi delle macchine, hanno fatto stabilire che il potere lubrificante dell'aqua è circa 100 volte maggiore di quello delle materie lubrificanti le più vantaggiose.

Si spiega pure la nota esperienza del regelo. Si prendano due pezzi di ghiaccio e si applichino l'uno contro l'altro per due superfice alcun poco estese; i due pezzi si saldano in modo da non formarne che uno. È così che i ragazzi comprimendo una palla di neve nelle mani riescono a farne una massa dura e quasi trasparente, di ghiaccio. Parimenti, la neve che cade sulla cima dei monti elevati, accumulandosi e premendosi, dà luogo ad *un ghiacciajo*, formato di ghiaccio trasparente e di perfetta omogeneità. Tyndall ha potuto, schiacciando una massa di ghiaccio con un colpo di bilanciere, produrre una medaglia continua, perfettamente trasparente, nella quale erano riprodotti tutti i dettagli della superfice dei conj.

La spiegazione di questi fatti è assai semplice. In contatto dei frammenti di ghiaccio e sotto la pressione che li ravvicina, si produce una pellicola liquida: questa, una volta formata, si spande tra i frammenti dove, non provando dappertutto la pressione agente che i solidi non trasmettano che in determinate direzioni, liberata, per così dire, da queste pressioni, rigela.

Il sig. Tyndall ha dato all'esperienze di regelazione una forma interessante, sotto la quale vengono ordinariamente eseguite nei corsi di fisica. Si fa uso di stampi in bossolo (fig. 269) che vengono riempiti di piccoli frammenti di ghiaccio. Sottoponendo gli stampi ad una forte pressione se ne ottiene una massa continua e trasparente, avente la forma dello stampo stesso. Variando la forma degli stampi, si possono ottenere delle sfere, delle lenti, delle coppe, ecc.

298. Plasticità del ghiaccio. — Il regelo è una proprietà particolare del ghiaccio; le ricerche fatte per trovare se questa proprietà si riscontra anche nei corpi che, come il bismuto e la ghisa, si dilatano solidificandosi, hanno condotto a risultati negativi.

L'effetto di questa curiosa proprietà è di dare al ghiaccio, almeno nell'apparenza, la fisionomia d'una materia plastica. Non è infatti

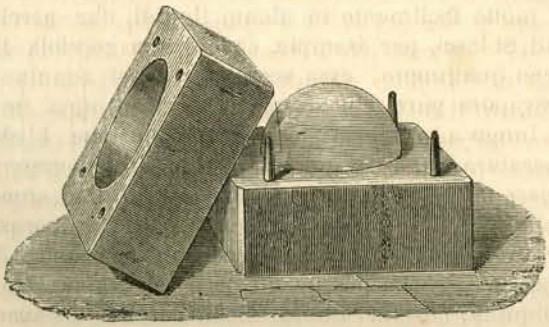


Fig. 269.

il carattere proprio della plasticità quello di permettere l'adattamento a tutte le forme possibili?

È pure in causa di questa plasticità che si effettuano i moti progressivi dei ghiacciaj, i quali dalla cima delle alte montagne discendono lentamente, ma con passo sicuro, verso le vallate, adattandosi alle accidentalità del terreno, sopratutto nelle parti in declivio; accomodandosi precisamente, come lo farebbe una massa molle, alle forme ed alle dimensioni degli intervalli da valicare. Ciò non ostante questa plasticità non è reale; il ghiaccio è veramente un corpo duro ed elastico di cui non si può cambiar la forma che rompendolo o fondendolo. Ma la regelazione produce, quando è necessario, tutti gli effetti che deriverebbero da una vera plasticità. Nella discesa del ghiacciajo, il masso si divide sotto l'azione degli ostacoli che incontra, delle fessure si formano anche in seguito alla fusione prodotta qua e là; ma i frammenti si risaldano, per rompersi poi e rigelare di nuovo; di modo che, in questa

massa gigantesca in movimento, l'imaginazione deve osservare ed il progredire maestoso dell' insieme, ed i movimenti particolari delle diverse parti, la di cui la fragilità è, per così dire, riscattata dalla potenza del regolo.

CAPITOLO IV.

EVAPORAZIONE.

299. Passaggio allo stato di vapore. — La maggior parte dei liquidi, abbandonati a sè stessi in contatto dell'aria, passano gradualmente allo stato di vapore e finiscono per scomparire. Questo fenomeno si produce molto facilmente in alcuni liquidi, che perciò diconsi assai volatili. Si lasci, per esempio, cadere una gocciola d'etere sopra un corpo qualunque, essa scompare quasi istantaneamente; l'alcool si evapora pure con grande rapidità, l'aqua impiega un tempo più lungo a subire la stessa trasformazione. L'elevamento della temperatura attiva in qualunque caso il fenomeno; quando si fa *asciugare* un corpo innanzi al fuoco, si utilizza appunto questa proprietà del calore di rendere più rapida l'evaporazione dell'aqua che impregna l'oggetto sottoposto all'esperienza. Non è del resto sempre necessario, perchè un corpo si evapori, che esso sia allo stato liquido; così, la canfora, l'iodio ed altre sostanze, passano direttamente dallo stato solido allo stato di vapore; si vedrà in seguito che il ghiaccio emette dei vapori apprezzabili alla temperatura di 30° sotto zero.

Il passaggio allo stato di vapore differisce essenzialmente dalla fusione pel fatto che, quello si produce a qualunque temperatura, mentre questa non ha luogo che a temperatura determinata. Ciò non ostante sembra che per ciascuna sostanza esista una temperatura, al disotto della quale l'evaporazione non ha più luogo: l'acido solforico, per esempio, alla temperatura ordinaria di 10° a 15°, non emette più vapore. Lo stesso si dica del mercurio a 0°, giacchè, se al disopra di questo metallo, preso a questa temperatura, si pone una lamina d'oro polita, non si constata alcuna alterazione: a 10° o 15° si vede la lamina imbianchirsi, ciò prova che essa si è allegata col mercurio; questo per conseguenza ha dovuto ridursi in vapore.

A partire da questo limite, che però non si è potuto assegnare che in un piccol numero di liquidi; l'evaporazione si produce a qualunque temperatura: essa è tanto più intensa quanto più la temperatura è elevata.

300. Vapori, Gas. — Non passa in fatto alcuna differenza fra le parole *gas* e *vapore*. Vapore è il gas in cui si trasforma un liquido per evaporazione; un gas deve sempre essere considerato come il vapore di un certo liquido. Ciò non pertanto si fa uso in modo particolare della parola vapore, quando si tratta di corpi che si vedono abitualmente allo stato liquido o solido, come l'aqua, lo solfo, ecc., mentre la parola gas si riserva per quei corpi che non sono conosciuti sotto altro stato, fuorchè in condizioni eccezionali, come, per esempio, l'acido solforoso, l'acido carbonico, il gaz ammoniaco, ecc. Ad un piccol numero di gas, vale a dire l'*ossigeno*, l'*idrogeno*, l'*azoto*, il *biossido d'azoto*, l'*ossido di carbonio*, che fino a questi ultimi tempi non si era riusciti a ridur liquidi, veniva dato il nome di *gas permanenti*.

301. Forza elastica dei vapori. — Tensione massima. — La proprietà caratteristica dei gas, vale a dire l'espansibilità o forza elastica, si può rendere facilmente manifesta nei vapori per mezzo della seguente esperienza:

Si fa uso di un pallone di vetro *A* (fig. 270), la di cui guarnitura superiore in metallo presenta due aperture. Una di esse può porsi in comunicazione con un manometro ad aria libera; l'altra è munita di un rubinetto d'aggiunta *R*. S'incomincia dal fare il vuoto nel pallone, ponendo il tubo d'aggiunta in comunicazione colla macchina pneumatica.

Il mercurio si eleva nel ramo a sinistra del manometro e si abbassa nell'altro ramo; si stabilisce in definitiva una differenza di livello che differisce dall'altezza del mercurio nel barometro, solamente della piccolissima quantità che misura la forza elastica dell'aria lasciata dalla macchina. Si chiude allora il robinetto *R* e si dispone al disopra di esso un secondo robinetto ad imbuto *R'*, la di cui chiave non è traforata da parte a parte e presenta solo una cavità. Per mezzo di questo robinetto si può introdurre un liquido nel pallone, senza por questo in comunicazione coll'aria. Basta perciò di riempire di liquido l'imbuto, aprire il robinetto *R* e far girare di mezzo giro, alternativamente in un senso e nell'altro, la chiave del robinetto *R'*. Operando in questo modo si riconosce come, facendo passare una piccola quantità di liquido nel pallone, nel medesimo istante la colonna di mercurio si abbassa nel ramo di sinistra del manometro, in modo da indicare un aumento di forza elastica. Questa forza elastica aumenta successivamente a misura che la quantità di liquido introdotto aumenta essa stessa. Non si vede però liquido nel pallone; se ne deve concludere che esso si vaporizza mano mano che vien introdotto e che è appunto la forza elastica del vapore formantesi successivamente, quella che produce l'abbassamento della colonna di mercurio.

Ciò non pertanto, questo accrescimento di pressione ha un limite: arriva un momento in cui la differenza di livello del mercurio nei due rami del manometro rimane costante. A partire di questo momento si osserva nel pallone qualche gocciola del liquido introdotto o, facendone entrare del nuovo, lo si vede accumularsi nel pallone stesso.

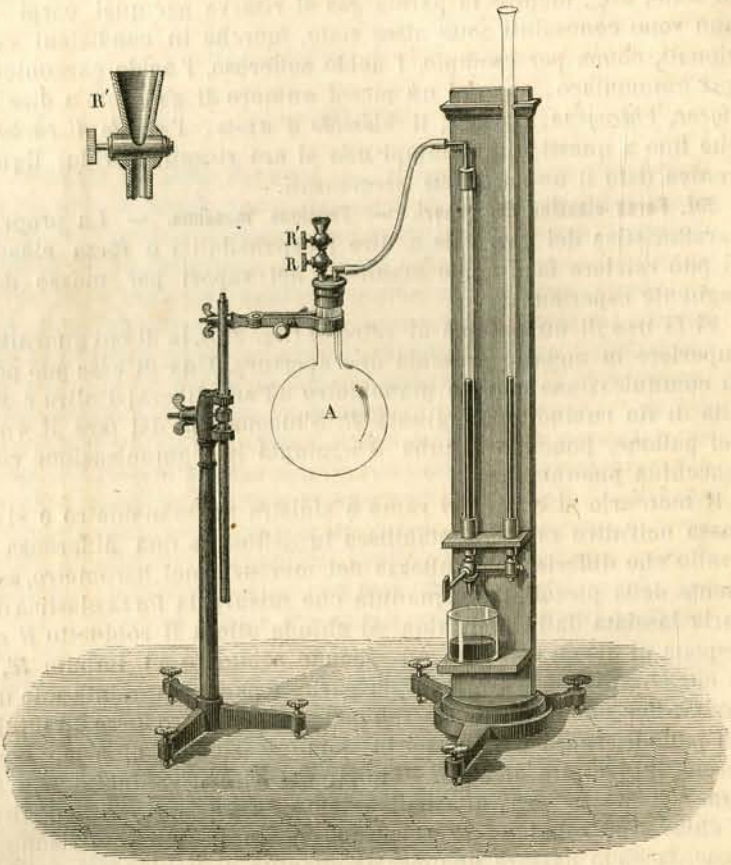


Fig. 270.

Da questa importante osservazione si conclude che la quantità di vapore che può formarsi in uno spazio vuoto, non può sorpassare un certo limite. Quando questo limite è raggiunto, si dice che lo spazio è *saturo*. Esso contiene allora del vapore la di cui tensione, e di conseguenza la densità, sono massime. Da ciò risulta evidentemente che, se del vapore ad una tensione minore della

sua tensione massima si trova chiuso in un certo spazio e lo si viene a comprimere, la sua tensione e la sua densità, dapprima aumenteranno, ma poi verrà un momento in cui, la tensione massima essendo raggiunta, un'ulteriore compressione non farà cambiare oltre la tensione, ed avrà solamente per effetto di far passare una parte di vapore allo stato liquido.

Si verifica direttamente quest'ultima conseguenza per mezzo dell'esperienza seguente: Si prende un tubo barometrico *a b* (figura 271), lo si riempie di mercurio, ad eccezione di un piccolo spazio dove si mette qualche gocciola d'etere. Si intende che si sarà posta ogni cura nell'espellere prima, il più completamente possibile, le bolle d'aria che fossero rimaste aderenti al mercurio. Si capovolge allora il tubo nella vaschetta profonda *M N*; l'etere sàle al disopra del mercurio, si riduce in vapore e produce una notevole depressione della colonna di mercurio. Se si è presa una quantità di etere abbastanza piccola e si tiene il tubo abbastanza sollevato, non si vede alcun liquido nello spazio occupato dal vapore: questo spazio non è saturo. La forza elastica del vapor d'etere è data dalla differenza fra l'altezza della colonna di mercurio sollevata e l'altezza indicata da un tubo barometrico posto a fianco. S'immerga poi gradualmente il tubo; si riconoscerà che questa differenza va d'apprima crescendo; ciò indica che la tensione del vapor d'etere aumenta. Ma, se si continua a sprofondare il tubo, si vedrà, ad un certo istante, del l'etere liquido formarsi al disopra del mercurio e, a partire da questo momento, la colonna sollevata restare invariabile; il movimento di compressione non fa che aumentare la quantità di liquido che si forma a spese del vapore.

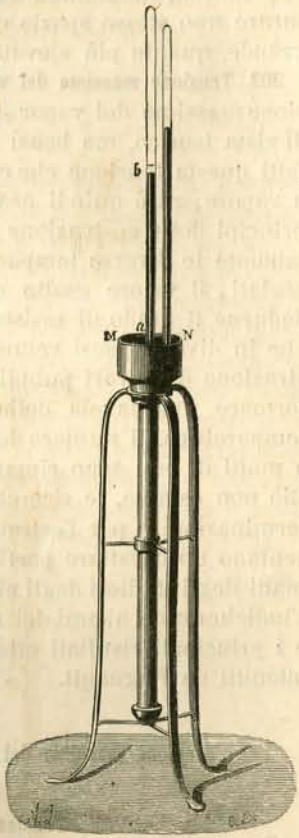


Fig. 271.

302. Influenza della temperatura sulla tensione massima. — Ritorniamo ora all'apparecchio (fig. 270) e supponiamo che il pallone contenga una quantità abbastanza grande del liquido introdotto. Si ponga il pallone in un ambiente di cui si possa elevare la temperatura; si

osserva immediatamente, per mezzo del manometro, un aumento di forza elastica e, nello stesso tempo, una diminuzione nella quantità del liquido. La tensione massima di un vapore, come pure la sua densità, aumentano dunque, colla temperatura, e quindi, per saturare uno stesso spazio occorre una quantità di vapore tanto più grande, quanto più elevata è la temperatura.

303. Tensione massima del vapor d'aqua. — La conoscenza della tensione massima del vapor d'aqua è importante, non solo dal punto di vista teorico, ma bensì anche dal punto di vista pratico. È infatti questa tensione che costituisce la forza motrice delle macchine a vapore; gli è quindi esenziale, per stabilire in modo razionale i principi della costruzione di questi apparecchi, di conoscere esattamente le diverse temperature alle quali questi potranno essere portati, il valore esatto della forza che li mette in moto, onde dedurne il grado di resistenza che devono presentare. Gli è perciò che in diversi paesi vennero eseguite, dietro ordine dell'amministrazione dei lavori pubblici, delle esperienze aventi per iscopo di formare una tavola delle forze elastiche del vapore a diverse temperature. Il numero dei lavori di questo genere è perciò grande, e molti di essi sono rimarchevoli dal punto di vista scientifico. Ciò non ostante, le ricerche di Regnault, per la quantità delle determinazioni e per l'estrema precisione dei mezzi adoperati, presentano un carattere particolare d'autorità ed hanno posto fra le mani degli studiosi degli elementi numerici indiscutibili. In seguito s'indicheranno alcuni dei metodi impiegati a queste determinazioni e i principali risultati ottenuti; ecco per ora i principali risultati ottenuti da Regnault.

Tensione massima del vapore d'aqua a diverse temperature.

Temperature	Tensione in millimetri	Temperature	Tensione in millimetri
— 32°	0, 32	+ 45°	71, 39
— 20	0, 93	50	91, 98
— 10	2, 09	55	117, 47
— 5	3, 11	60	148, 70
+ 0	4, 60	65	186, 94
+ 5	6, 53	70	233, 09
10	9, 17	75	288, 51
15	12, 70	80	354, 64
20	17, 39	85	433, 04
25	23, 55	90	525, 45
30	31, 55	95	633, 77
35	41, 82	100	760, 00
40	54, 91		

	Tensione in atmosfere		Tensione in atmosfere
100°	1, 000	180°	9, 929
121	2, 025	189	12, 125
134	3, 008	199	15, 062
144	4, 000	213	19, 997
152	4, 971	225	25, 125
159	5, 966	239	27, 534
171	8, 036		

304. Curve di tensione. — Comparando le forze elastiche alle diverse temperature, si è cercata invano una relazione semplice fra questi due elementi, relazione che costituirebbe la legge fisica del fenomeno. La legge secondo la quale le tensioni massime variano colle temperature non sembra dunque suscettibile di una espressione semplice, o, comunque sia, i fisici non sono per anco riusciti a metterla in evidenza. Solamente si può constatare, coll'ottento esame della tavola precedente, che la tensione massima varia assai rapidamente colla temperatura. Così, mentre tra 0° e 100° questa tensione varia di circa un'atmosfera, da 100° a 200° questa variazione si avvicina alle 15 atmosfere, da 200° a 230° la variazione è di 13 atmosfere circa. Questo carattere essenziale del fenomeno è reso sensibile a dalla costruzione grafica, tracciata secondo i risultati.

Su di una retta orizzontale (fig. 272) si portano successivamente delle lunghezze proporzionali alle temperature e dai punti di divisione si innalzano delle perpendicolari alla retta, rappresentanti, con una scala qualunque, le corrispondenti tensioni del vapore. Riunendo le estremità di queste perpendicolari con una linea continua, si ottiene una curva, la quale è l'espressione sensibile della legge delle variazioni di tensione. Come si vede, questa curva si eleva assai rapidamente sopra l'asse orizzontale ed è facile dedurre da ciò che, per impiegare del vapor d'aqua saturo a temperature superiori a 230°, bisognerebbe far uso di vasi di una resistenza assai considerevole e senza dubbio difficili ad aversi.

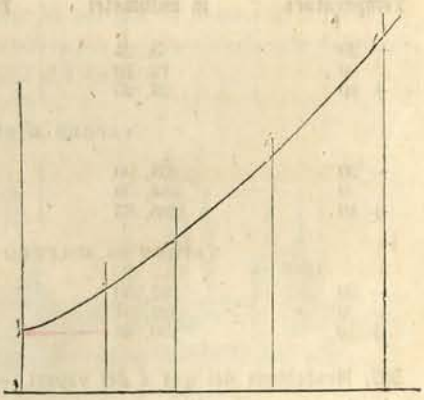


Fig. 272.

305. Formole empiriche. — Si è tentato di rappresentare i risultati ottenuti, per mezzo di formole algebriche le quali, se non possono rappresentare rigorosamente la legge del fenomeno, ancora sconosciuta, vi si avvicinano in modo abbastanza

approssimata pei bisogni della pratica. A queste formole si dà il nome di formole di interpolazione o formole empiriche. I fisici hanno proposte diverse di queste formole; Regnault fa uso della seguente:

$$log.\ F = a + b\ \alpha^t + C\ \beta^t$$

nella quale F è la forza elastica espressa in millimetri di mercurio, t la temperatura: le cinque costanti a, b, C, α, β sono determinate per mezzo di cinque osservazioni, ripartite press'a poco ad eguale distanza tra le temperature da — 32° a 232°. I risultati dati dalla formola sono assai sensibilmente d'accordo coll'esperienza, nel caso più sfavorevole l'errore arriva appena ad $\frac{1}{400}$.

Duloug ed Arago hanno dato la seguente formola:

$$F = (1 + 0,\ 7155\ t)^5$$

In questa formola la temperatura ha per origine 100° e per unità un intervallo pure di 100°; F rappresenta la forza elastica espressa in atmosfere: questa formola è facile da tenersi a memoria e dà risultati abbastanza approssimati per la pratica.

306. Tensione dei vapori di liquidi diversi. — Regnault ha fatto alcune esperienze dirette su questo soggetto, usando degli stessi apparecchi che gli avevano servito pel vapor d'aqua. Egli si è specialmente occupato dei liquidi volatili, dei quali, da molto tempo, si è proposto di far uso nelle macchine a vapore dette macchine a *vapori combinati*. Ecco alcuni risultati dovuti a Regnault.

VAPORE D'ALCOOL

Temperature	Tensione in millimetri	Temperature	Tensione in millimetri
— 20°	5, 24	+ 30°	78, 52
0	12, 70	100	1697, 55
+ 10	24, 25	155	6259, 19

VAPORE D'ETERE

— 20	68, 90	+ 30	654, 80
0	184, 39	100	4955, 30
+ 10	286, 85	120	7719, 20

VAPORE DI SOLFURO DI CARBONIO

— 20	47, 30	+ 30	454, 62
0	127, 91	100	3525, 15
+ 10	198, 46	150	9095, 94

307. Mescolanze dei gas e dei vapori. — Si possono ripetere le operazioni eseguite coll'apparecchio (fig. 270), senza fare il vuoto nel pallone, lasciando in questo dell'aria o qualunque altro gas o miscuglio di gas. I risultati a cui si arriva sono gli stessi. Così, a misura che s'introduce un liquido, questo si evapora e la pressione aumenta gradualmente fino ad un certo limite, che corrisponde alla saturazione; a questo momento l'accrescimento di forza elastica è precisamente quello che si era osservato col pallone vuoto.

La quantità di vapore che si forma in uno spazio già pieno di gas, è dunque la stessa di quella che si produrrebbe nello stesso

spazio, vuoto, e, nelle medesime condizioni, la saturazione e la densità del vapore non provano alcun cambiamento. Ciò non ostante è da notarsi una differenza importante: nel vuoto il vapore si forma per così dire istantaneamente; in un gas invece il fenomeno si produce con una certa lentezza, tanto maggiore quanto più grande è la pressione del gas. È infatti naturale di ammettere che la presenza di molecole gasose costituisce una specie di ostacolo alla disseminazione delle nuove molecole: e non è anche impossibile di supporre che un certo grado di accumulazione iniziale, possa diminuire la densità effettiva del vapore prodotto. Qualcuno dei risultati ottenuti da Regnault nelle sue ricerche a questo proposito, sembrano dar consistenza a questa supposizione.

La produzione di vapore in un miscuglio gasoso è evidentemente un fenomeno identico a quello di un miscuglio di gas; tanto l'uno che l'altro ammettono una stessa causa, vale a dire la forza espansiva di fluidi aeriformi che, in causa della grande distanza fra le molecole, dà luogo alla lor mutua penetrazione. A questo proposito si possono dunque enunciare le due leggi seguenti, le quali sono le equivalenti ed il complemento di quelle enunciate nel capitolo già citato:

1.° *Il vapore si produce in eguale quantità e colla stessa tensione in uno spazio pieno di gas ed in uno spazio vuoto;*

2.° *Quando uno spazio già pieno di un gas si satura di vapore, si ottiene la forza elastica totale del miscuglio, aggiungendo alla pressione iniziale del gas la tensione massima del vapore.*

308. Liquefazione dei gas. — Il carattere esterno più spiccato al quale si riconosce che un vapore è al massimo di tensione, è la presenza del liquido che lo ha originato. Liquefare un gas non è altro che ridurre questo corpo alla sua tensione massima, giacchè, a questo momento, la più piccola diminuzione di volume deve far comparire una parte del liquido. Due mezzi distinti possono essere impiegati ad effettuare questa operazione: il primo è il raffreddamento; il secondo la compressione.

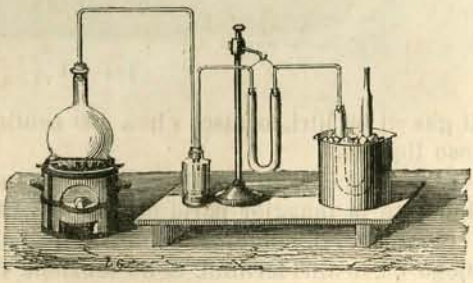


Fig. 273.

Col raffreddamento si diminuisce gradatamente la quantità di vapore necessaria alla saturazione e si può, per conseguenza, in certi casi, raggiungere una temperatura tale che questa saturazione sia

possibile colla quantità di gas esistente. Colla compressione si aumenta la densità, la quale può essere così condotta al valore corrispondente alla tensione massima.

Si fa spesso uso del primo metodo per ottenere allo stato liquido dei gas facili a liquefarsi. La fig. 273 rappresenta la disposizione dell'apparecchio per mezzo del quale si ottiene ordinariamente l'acido solforoso allo stato liquido. Il gas prodotto in un pallone coi processi ordinarj, passa dapprima in una bottiglia di lavaggio, poi in un tubo disseccante ed è finalmente diretto in un tubo ad *U*, circondato da un miscuglio refrigerante di ghiaccio e sale. Un volume

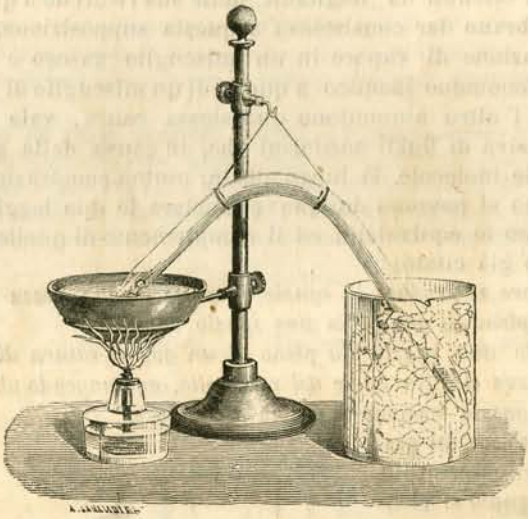


Fig. 274.

di gas di 50 litri, fornisce circa 100 centimetri cubici d'acido solforoso liquido.

L' apparecchio di Pouillet, descritto nel capitolo X, permette di liqnefare la maggior parte dei gas col mezzo della compressione.

Per rendersi conto delle pressioni alle quali la liquefazione ha luogo od, in altri termini, della tensione massima dei gas, si sostituisce all'uno dei tubi, un tubo più breve contenente dell'aria, il quale serve così di manometro.

Pouillet ha così riconosciuto che alla temperatura di 10°, l'acido solforoso si liquefa sotto la pressione di 2 atmosfere e mezzo, il protossido d'azoto a 43 atmosfere, e l'acido carbonico a 45.

309. Metodo di Faraday. — Faraday ha indicato una specie di processo generale di liquefazione, nel quale si utilizza in una volta, e della compressione, e del raffreddamento (fig. 274). Si tratti, per

esempio, di liquefare il gaz ammoniaco. Si fa uso di un tubo assai resistente piegato in forma di *V*, in uno dei rami del quale si è introdotto del cloruro d'argento ammoniacale. Si scalda questa estremità con una lampada e s'immerge l'altro ramo in un miscuglio refrigerante di ghiaccio e sale. Il cloruro, che può assorbire parecchie centinaja di volte il proprio volume di ammoniaca, sviluppa questo gas; ma questo, non potendo occupare che un volume assai piccolo, si comprime gradualmente e giunge perciò alla sua tensione massima. Da questo momento il liquido compare nel ramo raffreddato del tubo.

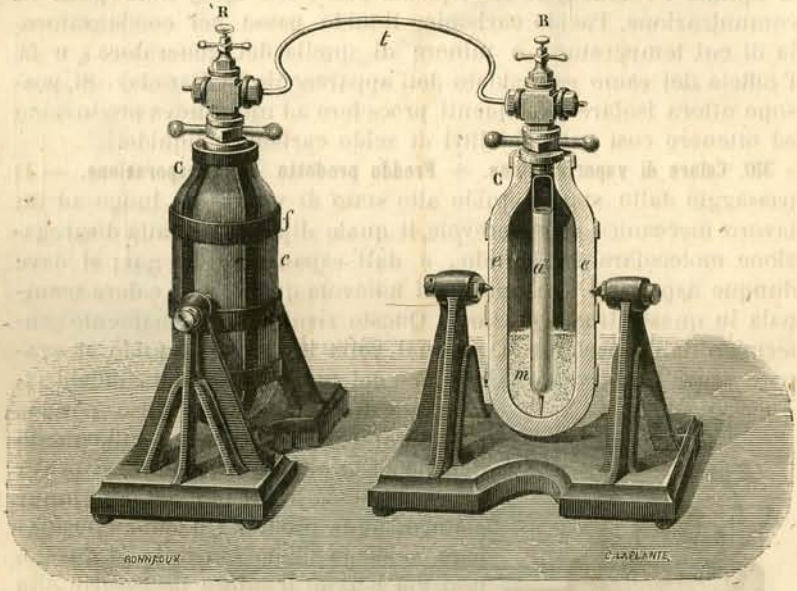


Fig. 275.

Thilorier ha costrutto, verso il 1834, un apparecchio, divenuto classico e fondato sul metodo di Faraday, nel quale apparecchio si liquefa il gas acido carbonico. Questa operazione esige, alla temperatura ordinaria, la enorme pressione di 50 atmosfere circa. Per poco che la temperatura si elevi in causa delle reazioni chimiche che producono il gas, la pressione può facilmente raggiungere 75 od 80 atmosfere. Da ciò si giudichi la cura colla quale devono essere studiate le resistenze dei pezzi metallici impiegati alla costruzione dell'apparecchio. Dapprima questo veniva costrutto in ghisa, circondato da una doppia armatura di ferro fucinato; ma la costruzione ne venne modificata dopo che una terribile esplosione costò la vita ad una delle persone che eseguivano l'esperienza.

Oggigiorno i vasi si fanno di tre parti: una interna di piombo, l'altra *e*, che la involge completamente, di rame, finalmente, all'esterno, delle armature in ferro fucinato (fig. 275) che consolidano il tutto. L'apparecchio è composto di due recipienti distinti. Nel generatore *C* si pone del bicarbonato di soda ed un tubo verticale *a*, aperto superiormente, contenente dell'acido solforico. Imprimendo al vaso un movimento di oscillazione intorno ai due perni che lo supportano presso a poco pel suo mezzo, l'acido solforico si versa gradualmente, e l'acido carbonico si sviluppa e si liquefa. Si riuniscono allora il generatore ed il recipiente *C'* mediante il tubo *t*, e si aprono i robinetti *R R'*. Appena che i due spazj sono posti in comunicazione, l'acido carbonico liquido passa nel condensatore, la di cui temperatura è minore di quella del generatore, e fa l'officio del ramo raffreddato dell'apparecchio di Faraday. Si possono allora isolare i recipienti, procedere ad una nuova produzione ed ottenere così parecchi litri di acido carbonico liquido.

310. Calore di vaporizzazione. — Freddo prodotto coll' evaporazione. — Il passaggio dallo stato liquido allo stato di vapore dà luogo ad un lavoro meccanico considerevole, il quale dipende, e dalla disgregazione molecolare del liquido, e dall' espansione del gas; si deve dunque aspettarsi che una assai notevole quantità di calore scompaia in questa trasformazione. Questo risultato è pienamente confermato dall'esperienza. Ogni qual volta infatti un liquido si evapora senza l'intervento dell'azione del fuoco, si constata un'abbassamento di temperatura. Gli è perciò, per esempio, che se si versa sulla mano dell'alcool, o meglio dell'etere, si prova una sensazione di freddo assai pronunciata. L' aqua produce un fenomeno analogo, sebbene meno sensibile, e questo, non già perchè il calore necessario alla sua evaporazione sia minore di quello necessario all'etere ed all'alcool, chè, al contrario, è maggiore, ma perciò che gli altri due liquidi sono più volatili e si evaporano più rapidamente. È l'evaporazione dell'aqua che spiega la sensazione di freddo che si prova all' uscire dal bagno. È questo pure il principio dei vasi destinati a rinfrescare l' aqua, detti *alcarazas*. Sono questi, vasi in terra porosa; l' aqua che vi vien posta penetra attraverso le loro pareti e forma alla superfice esterna una sottile pellicola, che si evapora facilmente, producendo un abbassamento di temperatura.

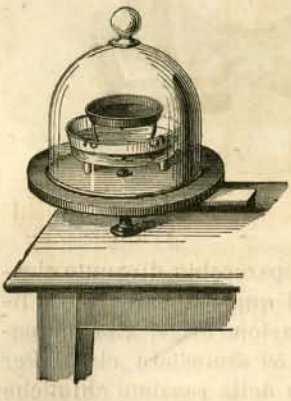


Fig. 276.

311. Esperienza di Leslie. — Si può congelare l'aqua col freddo prodotto dalla sua evaporazione, per mezzo di una esperienza eseguita per la prima volta da Leslie. Si fa uso di una piccola capsula di rame assai sottile (fig. 276), contenente una piccolissima quantità d'aqua; la capsula appoggia sui lembi di un vaso collocato al disotto, contenente dell'acido solforico concentrato. Si col-

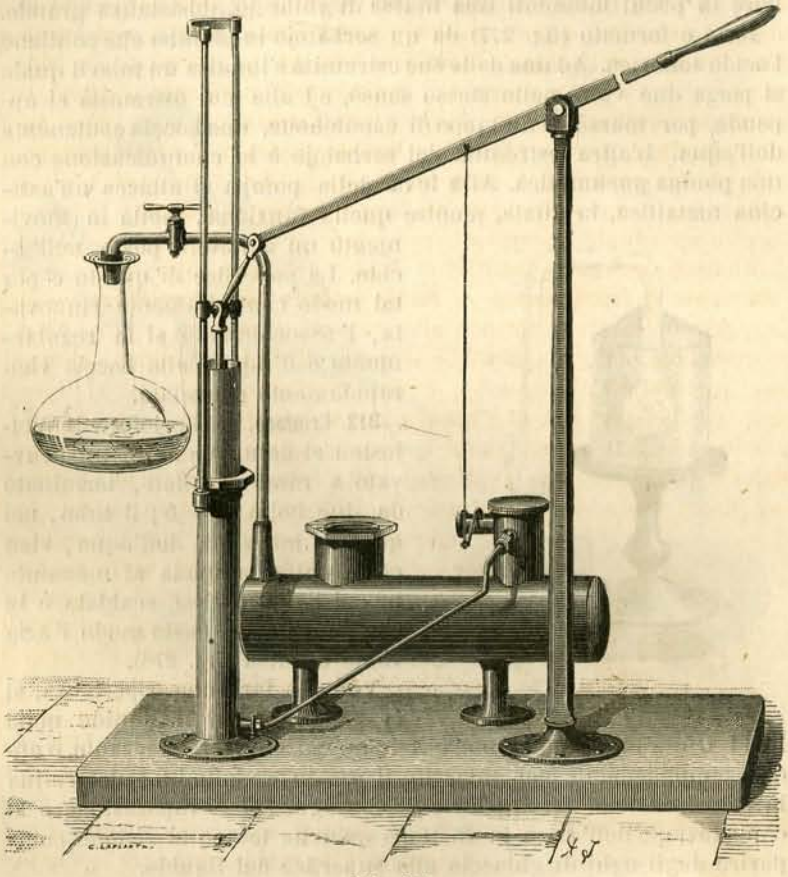


Fig. 277.

loca il tutto sotto la campana della macchina pneumatica e si fa il vuoto. L'aqua si evapora attivamente, il vapor d'aqua è assorbito, mano mano che si forma, dall'acido solforico, e, dopo qualche tempo, si vede comparire il ghiaccio.

L'esperienza è in realtà un po' difficile e non riesce sempre; ciò devesi a diverse cause.

Il vapor d'aqua che occupa la parte superiore della campana non

è che incompletamente assorbito; d'altra parte, mano mano che lo strato superficiale dell'acido solforico assorbe il vapor d'aqua, diventa sempre meno concentrato, e la sua affinità per l'aqua diminuisce rapidamente.

Il sig. Ed. Carré ha costruito un apparecchio nel quale queste cause di lentezza dell'esperienza sono tolte, e che permette di ottenere in pochi momenti una massa di ghiaccio abbastanza grande.

Esso è formato (fig. 277) da un serbatojo in piombo che contiene l'acido solforico. Ad una delle sue estremità s'innalza un tubo il quale si piega due volte nello stesso senso, ed alla cui estremità si appende, per mezzo di un tappo di caoutchouc, una boccia contenente dell'aqua. L'altra estremità del serbatojo è in comunicazione con una pompa pneumatica. Alla leva della pompa si attacca un'asticina metallica, la quale, mentre quella funziona, mette in movimento un agitatore posto nell'acido. La superfice di questo è per tal modo continuamente rinnovata, l'assorbimento si fa regolarmente e l'aqua della boccia vien rapidamente congelata.

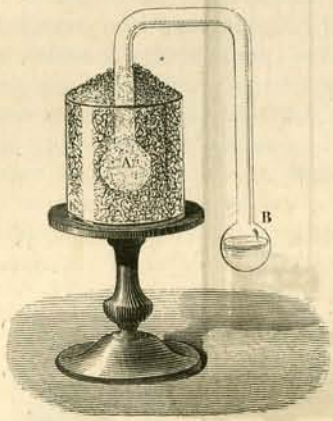


Fig. 278.

312. Crioforo. — Il crioforo di Wolloston si compone in un tubo curvato a rami paralleli, terminato da due bolle *A* e *B*; il tubo, nel quale s'introduce dell'aqua, vien chiuso alla lampada al momento in cui l'aqua stessa, scaldata, è in ebollizione; in questo modo l'aria viene espulsa (fig. 278).

Volendo fare una esperienza, si fa passare tutto il liquido nella bolla *B* e s'immerge la bolla *A* in un miscuglio refrigerante, o anche semplicemente nel ghiaccio. Il freddo prodotto in *A*, determina la condensazione del vapore e di conseguenza l'evaporazione e la congelazione dell'aqua in *B*. Dopo qualche tempo si vedono comparire degli aghi di ghiaccio alla superfice del liquido.

313. Congelazione dell'aqua coll'evaporizzazione dell'etere. — Si pone dell'aqua in un tubo di vetro immerso nell'etere contenuto in un bicchiere conico; quindi, per mezzo di un soffietto, si dirige una corrente d'aria attraverso all'etere. L'evaporazione si produce con attività, e, dopo qualche minuto, l'aqua del tubo è congelata (figura 279).

Se invece di provocare la congelazione dell'etere con una corrente d'aria, si ponesse il bicchiere sotto il recipiente della mac-

china pneumatica e si facesse il vuoto, l'abbassamento di temperatura sarebbe assai maggiore e si potrebbe facilmente solidificare il mercurio; ma questa esperienza presenta l'inconveniente di deteriorare più o meno gravemente le macchine, in causa dell'azione dissolvente dall'etere esercitata sui corpi grassi delle guarniture.

314. Solidificazione del mercurio per mezzo dell'acido solforoso. — L'acido solforoso liquido, assai più volatile dell'etere, permette di solidificare il mercurio. Onde difendersi dall'azione soffocante di questo gas, si opera nel seguente modo:

Fig. 279.

Fig. 280.

Alla parte inferiore di un tubo di vetro si pone del mercurio, e sopra questo dell'acido solforoso liquido. Il tubo è chiuso da un tappo in caoutchouc, munito di due aperture; una dà passaggio ad un tubo che arriva al fondo dello strato d'acido solforoso (figura 280). Per mezzo di una vescica piena d'aria, che si preme colle mani, si fa passare per questo tubo, e quindi attraverso il liquido, una corrente d'aria. Il gaz che si produce sfugge per un secondo tubo, applicato alla seconda apertura, il quale può essere diretto all'esterno. L'evaporazione accade rapidamente e, dopo poco tempo, il mercurio è solidificato.

315. Apparecchio Carré. — L'apparecchio costruito già da qualche anno da Carré per la fabbricazione del ghiaccio, è pure un'applicazione del freddo prodotto dall'evaporazione.

Questo apparecchio (fig. 281, 282) è costituito di due parti, una caldaja ed un congelatore. La caldaja è in ferro fucinato e contiene una serie di dischi sovrapposti, traforati al centro ed ai lembi; questa disposizione ha per scopo di aumentare la superfice di riscaldamento. La caldaja è riempita per tre quarti con una dissoluzione satura d'ammoniaca, la quale, come è noto, contiene da 6 a 700 volte il proprio volume di gas ammoniaco. Il congelatore ha una sezione annullare, e nello spazio annullare centrale può ricevere un vaso contenente l'aqua da congelarsi. Tra le sue pareti si trova una serie di piccoli truogoli, aventi pure per iscopo di moltiplicare il contatto del liquido colle parti metalliche.

Nella prima fase dell'esperienza, che è quella rappresentata dalla figura, la caldaja viene collocata sopra un fornello, sino a che abbia raggiunta la temperatura di 130°, ed il congelatore è circondato d'aqua fredda. Il gas am-

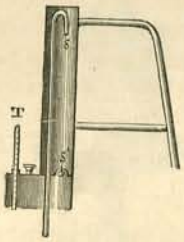


Fig. 281.

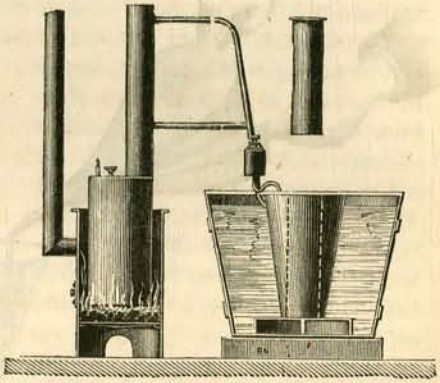


Fig. 282.

moniaco si sviluppa, si porta nel refrigerante, passando dalla valvola *s'* che si apre dal basso all'alto, e si condensa sui truogoli di cui si è parlato. Questa prima parte dell'operazione, pei piccoli apparecchi destinati all'economia domestica, dura circa tre quarti d'ora.

Nella seconda fase, si pone nello spazio centrale il vaso cilindrico contenente l'aqua da congelarsi; si circonda il refrigerante con un invoglio in feltro, assai cattivo conduttore del calore, e si pone la caldaja nell'aqua. L'aqua della caldaja, in causa del raffreddamento, ridiventa atta a disciogliere il gas, che ritorna nella caldaja stessa aprendo la valvola *s* del tubo piegato, detto sifone; l'evaporazione che si produce nel congelatore è allora assai attiva, l'abbassamento di temperatura è assai considerevole e l'aqua si congela.

Onde poter togliere il cilindro, bisogna avere la precauzione di introdurre nello spazio che lo riceve una piccola quantità di un

liquido che non possa gelare, come sarebbe l'alcool od una soluzione di cloruro di calcio, diversamente il vapore si precipiterebbe e si congelerebbe tra la superfice esterna del cilindro e l'apparecchio del refrigerante, causando un'aderenza assai difficile a vincersi.

Il freddo prodotto nell'apparecchio Carré è assai intenso, ma si può dire che non se ne utilizza che una piccola parte, in causa della pochissima conduttività dell'aqua. Gli apparecchi industriali a produzione continua non presentano, almeno allo stesso grado, questo inconveniente (1).

316. Liquefazione dei gas permanenti. — Come si è già detto (300), si era data la qualifica di gas permanenti ai gas *ossigeno, azoto, idrogeno, biossido d'azoto, ossido di carbonio*, perchè questi gas resistevano ai più potenti mezzi di liquefazione usati: tal qualifica però non erasi stabilita sul supposto che i gas citati non potessero esser resi liquidi, anzi si ammetteva che, con opportuni mezzi, si sarebbero al certo potuti liquefare. Infatti, sulla fine del 1877 il signor Cailletet ed il sig. Pictet, separatamente, senza che l'uno avesse cognizione dei lavori dell'altro, giunsero, con processi poco diversi, a liquefare l'ossigeno ed in seguito anche gli altri gas detti permanenti; in tali processi, ad una potente pressione viene accoppiato un grande abbassamento di temperatura. L'originalità del metodo consiste nel diminuire la temperatura, già assai bassa, col lasciar espandere il gas compresso. Mediante il biossido d'azoto (o l'acido solforoso) e l'acido carbonico, presi allo stato liquido e fatti poi espandere, il sig. Pictet ottenne l'ossigeno liquido alla temperatura di — 120° e sotto la pressione di 470 atmosfere. Lasciato vaporizzare il liquido, trovò che a — 130° la tensione del vapore di ossigeno si riduce a 273 atmosfere, ed alla temperatura di — 140° a 252 atmosfere. Determinò anche che la densità dell'ossigeno allo stato liquido è di circa 0,98.

(1) Il sig. Pictet ha inventato un'apparecchio per la produzione industriale del ghiaccio, fondato sul raffreddamento prodotto dall'evaporazione dell'acido solforoso liquido. L'apparecchio è ad azione continua; il ciclo vi è completo e, teoricamente, una data quantità di acido solforoso potrebbe servire indefinitamente; giacchè l'acido gasoso, dopo di aver agito nel *refrigerante*, vien nuovamente ridotto liquido in una parte dell'apparecchio detta *condensatore*; e ciò per mezzo di una pompa aspirante premente: dal condensatore l'acido solforoso passa nuovamente nel refrigerante, e così di seguito. Il refrigerante è disposto in una tinozza contenente un liquido non congelabile, che vi assume la temperatura di — 7°: in questo liquido si immergono delle scattole di lamiera contenente l'aqua da congelarsi.

L'apparecchio Pictet, a Londra, venne anche impiegato alla formazione di uno *skating* di vero ghiaccio.

NOTA DEL TRADUTTORE.

Lasciando espandere in getto il vapore dei liquidi così formati, si è potuto osservare, per l'idrogeno, una parziale riduzione allo stato solido.

317. Calore sviluppato nella condensazione. Nello stesso modo che l'evaporazione consuma calore, il ritorno del vapore allo stato liquido deve produrre calore, ed in quantità esattamente eguale a quella consumata.

Si ha infatti un lavoro prodotto dalle forze esterne e dalle forze molecolari, il quale è l'esatto equivalente di quello prodotto dal calore al momento della evaporazione. E su questa rivivificazione del calore di evaporazione al momento in cui il vapore si condensa, che si fonda il riscaldamento a vapore, tanto usato nelle officine. Serve pure di principio alla misura delle calorie di vaporizzazione, ed è così che Regnault ha mostrato che questa quantità di calore per l'aqua a 100°, è eguale a 536 calorie; vale a dire, che per far passare un chilogrammo d'aqua a 100° in vapore alla stessa temperatura, occorre altrettanto calore quanto per elevare 536 chilogrammi d'aqua dalla temperatura 0° alla temperatura di 1°.

CAPITOLO V.

EBOLLIZIONE.

318. Ebollizione. — Quando un liquido contenuto in un vaso aperto è sottoposto all'azione di una temperatura crescente, esso si trasforma gradualmente in vapore che si dissipa nell'aria ambiente.

Questa evaporazione non ha luogo dapprincipio che alla superfice, ma giunge un momento in cui delle bolle di vapore si formano nei diversi punti del liquido e si elevano fino alla sua parte superiore, imprimendo a tutta la massa un movimento più o meno tumultuoso, accompagnato da un rumore caratteristico: questo fenomeno dicesi ebollizione.

Se si segue l'andamento progressivo del fenomeno in un vaso di vetro contenente dell'aqua (fig. 283), ad un certo momento si vedono svilupparsi delle bolle gazose assai piccole: sono bolle di aria disciolte. Un po' più tardi, verso il fondo e nei differenti punti della parete che subiscono l'azione del fuoco, si formano delle bolle più grosse di vapore le quali, elevandosi, diminuiscono di volume e scompaiono prima di aver raggiunta la superfice. In questo momento si produce un rumore particolare, pronostico della vicina

ebollizione: si dice che il liquido *ruggisce*. Questo fenomeno deriva da ciò che le prime bolle di vapore formatesi, incontrano nella loro ascensione degli strati più freddi, nei quali si condensano; l'aqua invade bruscamente il posto da esse occupato, producendo un tremito, una vibrazione affatto speciale, che dà origine al fenomeno sonoro. Finalmente le bolle divengono più numerose, ingrossano mano mano che salgono, e vengono a rompersi alla superfice, sollevandola successivamente; l'ebollizione è allora in piena attività.

319. Leggi dell'ebollizione. — 1.ª *Alla pressione ordinaria l'ebollizione accade ad una temperatura costante e determinata, per ciascun liquido.*

Questa legge è analoga a quella della fusione (284). La temperatura di ebollizione è dunque un coefficiente *specifico* proprio a ciascun liquido, e serve a definire la sua natura.

Fig. 283.

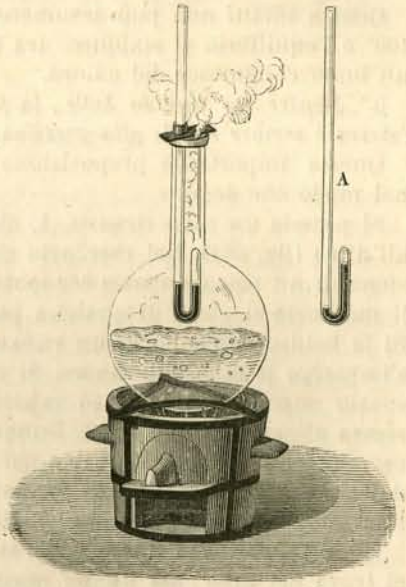


Fig. 284.

Ecco la tavola della temperatura di ebollizione di alcuni liquidi:

Punto di ebollizione di alcuni liquidi sotto la pressione di 760^{mm}.

Acido solforoso	— 10°	Essenza di terebenteno.	+ 130°
Etere cloridrico. . . .	+ 11°	Fosforo	290°
Etere comune	37°	Acido solforico concentrato	325°
Alcool	79°	Mercurio	353°
Aqua distillata	100°	Solfo	440°

2.ª *Durante l'ebollizione la temperatura del liquido rimane costante.*

Se nel pallone della figura 283 s'introduce un termometro, si vedrà la temperatura elevarsi gradualmente durante le diverse fasi che precedono l'ebollizione; ma dal momento che questa sarà in piena attività, non si osserverà più alcuna variazione. Questa osservazione conduce alla stessa conclusione a cui ci ha condotto il fatto del freddo prodotto dall'evaporazione.

Dal momento che, malgrado l'azione del fuoco, la temperatura rimane costante, si capisce che il calore prodotto è impiegato a compiere il lavoro necessario alla trasformazione del liquido in vapore. Dietro ciò si capisce anche perchè, alla pressione ordinaria, l'aqua, in un vaso aperto, non può scaldarsi al disopra di 100°. Si spiega così come si possa porre sopra un fuoco anche assai vivo, senza paura di fonderli, dei vasi di latta, di stagno, o di qualunque altro metallo facilmente fusibile, purchè i vasi contengano dell'aqua. Questa infatti non può assumere una temperatura superiore a 100° e l'equilibrio si stabilisce tra essa ed il metallo, che è sempre un buon conduttore del calore.

3.ª *Mentre un liquido bolle, la forza elastica del vapore da esso emessa è sempre eguale alla pressione esterna.*

Questa importante proposizione si dimostra sperimentalmente nel modo che segue:

Si prende un tubo ricurvo *A*, chiuso ad un estremo ed aperto all'altro (fig. 284). Del mercurio riempie il piccolo ramo, ad esclusione di un piccolo spazio occupato dall'aqua; nel ramo più lungo il mercurio si eleva di qualche poco al disopra della curvatura. Si fa bollire dell'aqua in un vaso e, mentre l'ebollizione ha luogo, s'immerge il tubo nel vapore. Si vede allora l'aqua che occupa lo spazio superiore ridursi in vapore, ed il mercurio disporsi alla stessa altezza nei due rami. Dunque, la pressione che l'atmosfera esercita alla estremità aperta del tubo è esattamente equilibrata dalla pressione del vapore formato dall'aqua, la quale si trova alla temperatura della sua ebollizione.

Onde l'esperienza riesca è necessario che la quantità d'aqua che si trova nel tubo, sia un po' maggiore di quella necessaria alla saturazione dello spazio che corrisponde all'eguaglianza di livello del mercurio. Senza di ciò, questo spazio non potrebbe essere saturato e la tensione riuscirebbe inferiore alla tensione massima propria alla temperatura di ebollizione.

320. Teoria dell'ebollizione. — Le circostanze ora esposte permettono di stabilire la vera definizione fisica dell'ebollizione. *Un liquido è in ebollizione quando emette del vapore avente una tensione uguale alla pressione su di esso esercitata dall'atmosfera che gli sovraincombe.*

Si può rendersi ragione a priori dell'esattezza rigorosa di questa proposizione. Si consideri infatti un liquido contenuto in un vaso

(fig. 285); qualunque sia la temperatura, e quindi la tensione, del vapore che tende a formarsi, l'evaporazione alla superfice si produrrà sempre, giacchè i gas, come si è detto, si penetrano sempre mutuamente ed in modo intimo. La pressione esterna potrebbe tutt'al più rallentare questa inevitabile diffusione. Le cose nell'interno di un liquido procedono però in modo affatto diverso. Là una bolla di vapore *m* non può formarsi che allorquando la sua forza elastica è capace di vincere, e la pressione atmosferica, che si trasmette nello stato attuale per l'intermezzo del liquido, ed il peso della colonna liquida sovrastante. Se la temperatura ha raggiunto il grado necessario, la bolla si forma e si innalza in virtù della sua leggerezza specifica. Mano mano che essa si avvicina alla superfice, l'altezza del liquido al disopra di essa diminuisce, la bolla si trova dunque meno premuta e la sua forza elastica si modifica in modo da trovarsi sempre in equilibrio colle forze che su di essa agiscono; ne segue che allorquando arriva alla superfice, la sua tensione è esattamente eguale alla pressione dell'atmosfera.

Fig. 285.

La temperatura di ebollizione è dunque necessariamente determinata, giacchè deve corrispondere ad una tensione del vapore eguale a quella dell'atmosfera. Si osservi, ciò nonostante, che questa temperatura varia nei diversi strati del liquido, ed è tanto più elevata quanto più profondi sono gli strati considerati. Gli è perciò che nella determinazione del secondo punto fisso del termometro, si è detto che bisogna immergere l'istrumento nel vapore e non nel liquido. Bisognerebbe operare in modo analogo nella determinazione precisa della temperatura di ebollizione di un liquido. Ordinariamente i chimici procedono più semplicemente si accontentano di scaldare il liquido in una storta tubulata, per la tubulatura della quale passa un termometro che s'immerge nelle parti superiori del liquido. Si capisce che a seconda che l'istrumento è più o meno profondamente immerso si otterrà una temperatnra più o meno elevata.

321. Influenza della pressione sulla temperatura del punto di ebollizione. — Da quanto precede risulta evidente che la temperatura di ebollizione di un liquido deve variare colla pressione che si esercita alla superfice di questo. L'aqua, per esempio, bolle a 100° sotto la pressione esterna di 760^{mm}; ma se la pressione diventa più debole, l'ebollizione potrà prodursi ad una temperatura più bassa. Sotto il recipiente della macchina pneumatica si può far bollire l'aqua ad una temperatura qualunque. Nell'esperienza di Carrè (311) si vede l'aqua della boccia entrare in piena ebollizione qualche momento prima dell'apparizione del ghiaccio.

L'espressione *aqua bollente* corrisponde dunque comunemente ad una sensazione determinata di calore, solamente perchè il fenomeno si osserva ordinariamente a pressioni poco differenti dalla pressione media di 760 millimetri.

A Parigi, per esempio, le pressioni esterne variano fra i limiti di 720 a 790 millimetri e la temperatura di ebollizione per conseguenza varia tra 98°,5 e 101°,1. Questa differenza di 3° circa non ha alcuna importanza nelle applicazioni, ma è notevole sotto diversi aspetti e se ne deve tener conto accuratamente. Così, per esempio, nella determinazione del punto 100 del termometro si supponga che la pressione esterna sia di 730,5. Consultando le tavole della tensione massima del vapor d'aqua si trova che questa tensione corrisponde alla temperatura 98°,9; il punto al quale si ferma il mercurio non indica dunque la temperatura di 100° ma bensì quella di 98,9.

Onde trovare il punto al quale deve essere inscritta la temperatura 100 si misura la lunghezza l che separa lo zero dal punto determinato sperimentalmente; posta x la distanza che corrisponde al punto 100, si ha evidentemente la relazione $\frac{x}{l} = \frac{100}{98,5}$, da cui $x = l \frac{100}{98,5}$.

322. Esperienza di Franklin. — Si pone in evidenza l'ebollizione dell'aqua ad una temperatura inferiore a 100° colla esperienza seguente (fig. 286):

Fig. 286.

Si fa bollire in un pallone dell'aqua per un certo tempo, a fine di espellere la maggior quantità d'aria; si toglie il pallone dal fuoco, lo si chiude con un tappo e, allo scopo di renderere più ermetica la chiusura e d'impedire l'introduzione d'aria, lo si capovolge e se ne immerge l'estremità del collo in un vaso contenente dell'aqua bollita.

L'ebollizione cessa dopo qualche istante in causa del raffreddamento del liquido. Se allora si versa dell'aqua fredda sul pallone, meglio ancora, se si applica sulla

sua superfice del ghiaccio, l' ebollizione rincomincia e può continuare per un tempo abbastanza lungo. Questo fatto si spiega facilmente: il contatto dell' aqua fredda o del ghiaccio diminuisce la temperatura del vapore che preme la superfice del liquido, ne diminuisce pure in modo notevole, come si vedrà in seguito, la forza elastica, ed è appunto in causa di questa diminuzione di pressione che rincomincia l'ebollizione.

323. Apparecchio di Derosne e Cail. — Nelle raffinerie di zucchero si approfitta spesso del principio di questa esperienza allo scopo di evaporare i siroppi ad una temperatura più bassa di quella che sarebbe necessaria operando all' aria libera. Si ha in questo modo un'economia di combustibile; ma non è questo il solo van-

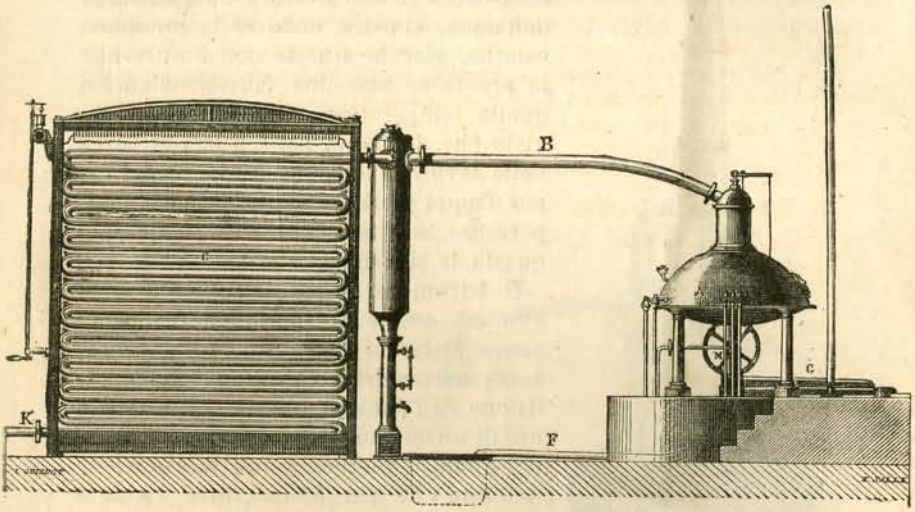


Fig. 287.

taggio. Riscaldando i siroppi, una parte di zucchero, sotto l'azione del calore, perde la sua proprietà di cristallizzare e rimane di conseguenza come residuo nelle *melasse*. Quanto più la temperatura è elevata, tanto maggiore è la quantità di zucchero che subisce questa dannosa trasformazione.

L'apparecchio usato in questa operazione è dovuto ai signori Derosne e Cail (fig. 287). Esso è costituito da una caldaja *A*, contenente il siroppo da evaporare. Il vapore prodotto è condotto dal tubo *B* in un enorme serpentino di rame, sul quale si lascia cadere del siroppo freddo, proveniented al serbatojo *D*. Questo siroppo, colando sul serpentino, abbassa la temperatura del vapore e facilita quindi l'ebollizione; d'altra parte si scalda esso stesso ed ar-

riva più concentrato nel serbatojo *E*, dal quale vien poi preso e condotto nella caldaja, per mezzo del tubo *F*.

L'estremità *K* del serpentino può essere messa in comunicazione con una pompa pneumatica, che toglie ad una volta l'aria ed il vapore; si mantiene così bassa quanto è possibile la temperatura di ebollizione. Oggigiorno, grazie ai progressi nella costruzione delle machine pneumatiche, si può mettere con queste in rapporto diretto la caldaja e sopprimere così il serpentino.

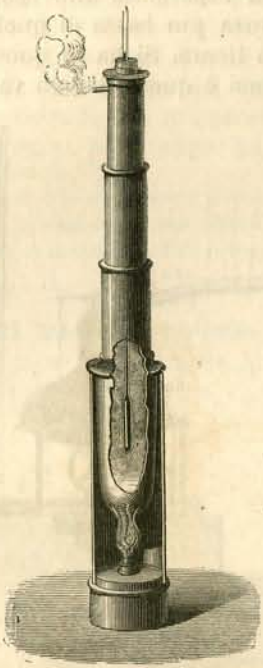


Fig. 288.

324. Ipsometro. — Nello stesso modo che la conoscenza della pressione esterna permette di assegnare la temperatura di ebollizione dell'aqua, reciprocamente, conosciuta la temperatura di ebollizione dell'aqua, si potrà dedurre la pressione esterna, giacchè questa non è altro che la pressione massima corrispondente a quella temperatura. Se, per esempio, visto che dell'aqua bolle a 99°, si cerca nelle tavole la tensione massima del vapor d'aqua corrispondente a questa temperatura, la si trova di 733,^{mm}2; è appunto questa la pressione esterna.

Il barometro è un istrumento poco atto ad essere trasportato; Wollaston aveva proposto di sostituire l'osservazione barometrica con quella dell'ebollizione dell'aqua. A questo scopo faceva uso di un termometro a grosso serbatojo, nel quale il mercurio non si estendeva nell'asta che per temperature vicine a 100°, come sono quelle che si possano osservare facendo bollire dell'aqua a diverse altitudini. Questo istrumento aveva ricevuto dal suo autore il nome di *termometro barometrico*.

Regnault ha fatto costrurre, sotto il nome di *ipsometro*, un piccolo apparecchio a quello analogo (fig. 288). Si compone esso di una piccola caldaja contenente dell'aqua che si fa scaldare per mezzo di una lampada ad alcool, e sormontata da un tubo di tirata, dalla parte superiore del quale sfugge il vapore. Un termometro immerso nel vapore e la di cui estremità esce appena dalla parte superiore del tubo, fornisce la temperatura di ebollizione. Da questa temperatura si deduce la pressione esterna, e da questa, per mezzo della formola di Laplace, l'altitudine del luogo nel quale si fa l'esperienza.

325. Pentola di Papin. — La diminuzione di pressione abbassa la temperatura di ebollizione; reciprocamente un' elevamento di pressione eleva pure la temperatura di ebollizione. Si può dunque, facendo comunicare la caldaja con un serbatojo contenente dell'aria a parecchie atmosfere di pressione, innalzare la temperatura di ebollizione a 110°, 115°, 120°, risultato assai utile in alcune operazioni industriali.

Onde però l'ebollizione possa, a vero dire, prodursi, è necessario che lo spazio situato al disopra del liquido sia abbastanza esteso e non sottoposto alla temperatura della caldaja. In caso diverso, se, per esempio, si scaldasse dell'aqua in un vaso ermeticamente chiuso, il vapore accumulandosi al disopra del liquido, accrescerebbe indefinitamente la pressione e di conseguenza il punto di ebollizione verrebbe indefinitamente ritardato; in altri termini l'ebollizione non potrebbe aver luogo. Questo è appunto quello che succede nell'apparecchio dovuto al celebre Papin e che porta il nome di *Pentola di Papin*.

È questa un vaso di bronzo a pareti assai resistenti (fig. 289) la di cui parte superiore è chiusa da un coperchio fortemente premuto col mezzo di una vite. Mantenuto il fuoco sotto il vaso, la temperatura dell'aqua nell'apparecchio, si eleva indefinitamente. Si eseguiscono così operazioni le quali non sarebbero possibili coll'aqua a 100°; come, per esempio, sciogliere la gelatina contenuta nelle ossa. È in vista di questa specie di applicazioni che Papin fu condotto a costruire il suo apparecchio, al quale aveva dato il nome di *Digestore*.

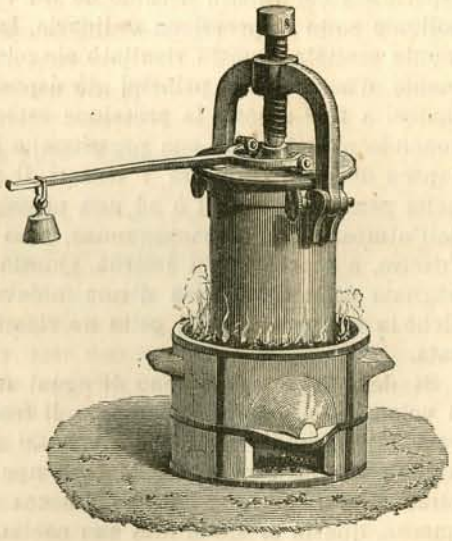


Fig. 289.

Si osservi che a misura che la temperatura si eleva, la forza elastica del vapore cresce assai rapidamente e può aquistare una potenza enorme. A 200°, per esempio, la pressione è già di 16 atmosfere, vale a dire di 1600 chilogrammi circa per decimetro quadrato. Sotto l'azione di tali forze, i vasi i più resistenti possono scop-

piare e dar luogo a spaventevoli accidenti. A prevenire questo fatto Papin imaginò un organo, che poi divenne comune nelle caldaje a vapore: è la valvola di sicurezza. Questa è formata da una apertura praticata nel coperchio della pentola; questa apertura è tenuta chiusa da una leva caricata di un opportuno peso. Si supponga che l'apertura abbia un centimetro quadrato di superficie e che non si voglia sorpassare la pressione di 10 atmosfere, pressione che corrisponde alla temperatura di 180°. Si prenderà un peso tale, posto in tale posizione, che la pressione esercitata sull'apertura riesca di 10 chilogrammi. Se allora la forza elastica del vapore sorpassa le 10 atmosfere, la leva si solleverà, il vapore sfuggirà e l'esplosione sarà così evitata.

Quando la forza elastica del vapore nella pentola sia divenuta assai considerevole e si dia sfogo al vapore sollevando la leva, questo sfugge rumorosamente, producendo una nube nell'aria. Se si immerge la mano in questa nube si prova a mala pena una sensazione di calore, mentre che, se si eseguisce la stessa esperienza col vapore uscente da un vaso che contiene dell'aqua bollente sotto la pressione ordinaria, la mano sarebbe inevitabilmente scottata. Questo risultato singolare in apparenza, è perfettamente d'accordo coi principj già esposti più volte. Il vapore formatosi a 100° e sotto la pressione esterna conserva naturalmente, venendo all'aria, e la sua pressione e la sua temperatura, che è capace di disorganizzare i tessuti. Il vapore invece che si trova nella pentola di Papin è ad una pressione assai superiore a quella dell'atmosfera, e, di conseguenza, esso si dilata grandemente nell'uscire, e scaccia l'aria esterna. Questa azione meccanica è accompagnata dalla scomparsa d'una notevole quantità di calore, cosichè la temperatura del getto ne riesce considerevolmente abbassata.

Si deve ad un fenomeno di egual natura se si può produrre a volontà sensazione di calore o di freddo per mezzo dell'aria espirata dai polmoni. Se la bocca è assai aperta l'aria mescolata di vapore che ne esce possiede la temperatura dei polmoni, che è circa di 37°. Ma se si chiude la bocca e se si comprime la massa gasosa, questa si dilata alla sua uscita, la sua temperatura si abbassa e produce quindi una sensazione di freddo.

326. Temperatura di ebollizione delle dissoluzioni saline. — Quando l'aqua tiene in dissoluzione delle materie saline, la temperatura di ebollizione si eleva tanto più, quanto più grande è la proporzione di sale. Così, con sal marino, si può gradualmente elevare la temperatura di ebollizione da 100° a 108°.

Quando la dissoluzione non è satura, il punto di ebollizione non è costante; esso si eleva gradualmente a misura che il liquido si

concentra; ma giunge un momento in cui il sale comincia a deporsi; la temperatura allora diventa invariabile: è questa la temperatura che si deve prendere per punto di ebollizione della dissoluzione satura. Ciò è tanto più importante in quanto che talvolta si produce un fenomeno analogo alla sursaturazione; la temperatura si eleva gradualmente senza che il solido si deponga, poi, ad un certo momento, questo deposito comincia a prodursi bruscamente e si vede il termometro scendere di parecchi gradi.

È assai importante di osservare che, qualunque sia la temperatura della dissoluzione, quella del vapore non dipende che dalla pressione esterna e resta la stessa come se l'aqua fosse pura. Questo risultato è facile da concepirsi *a priori*, giacchè il vapore che si sviluppa, essendo vapore d'aqua pura e trovandosi evidentemente in equilibrio di pressione coll'atmosfera al momento in cui si sviluppa, deve avere necessariamente la temperatura corrispondente a questa pressione. Ciò nonostante, finchè il vapore non ha abbandonato il liquido, è difficile di comprendere che esso non sia in equilibrio di temperatura con questo; è dunque probabile che al momento in cui il vapore abbandona la superfice esso provi un brusco raffreddamento.

I seguenti dati sono tolti da un importante lavoro del S.r Legrand su questo soggetto.

Punto di ebollizione di alcune dissoluzioni saline sature.

Carbonato di soda	104°,6	Nitrato di soda	121°,0
Cloruro di sodio	108, 4	Carbonato di potassa	135, 0
Cloruro d'ammonio	114, 2	Nitrato di calce	151, 0
Nitrato di potassa	115, 9	Cloruro di calcio	179, 5

327. Dell'influenza dei gas disciolti, sul punto d'ebollizione. — Diversi fisici hanno dimostrato che la presenza di un'atmosfera gasosa nel seno dei liquidi è necessaria per determinarne l'ebollizione. Qui non si terrà parola che delle esperienze del S.r Gernez, le quali sono, fra tutte, le più semplici e le più dimostrative.

Si prende un tubo di 50 a 60 centimetri di lunghezza e di 2 centimetri di diametro circa, e vi s'introduce uno strato d'aqua pura di 7 ad 8 centimetri di altezza, che poi vien condotta all'ebollizione. Dopo qualche minuto il vapor d'aqua ha trascinata la quasi totalità dell'aria; s'introduce allora nel liquido una piccola campanella, ottenuta strangolando alla lampada l'estremità di un tubo di vetro, di cui l'altro estremo è infilato in un tappo; si chiude il tubo e, ritiratolo dal fuoco si vede continuare l'ebollizione; tutte le bolle di vapore si sviluppano all'orificio della campanella. Quando l'apparecchio è ridotto alla temperatura ordinaria, è facile di constatare che sotto la campanella non rimane che una piccolissima parte dell'aria che essa conteneva al momento della sua introduzione nel liquido.

Invece di chiudere ermeticamente l'estremità superiore del tubo, si può, facendo uso di un tappo forato, lasciar produrre l'ebollizione sotto la pressione atmosferica; allora però è necessario di continuare l'azione del fuoco. *Le bolle di vapore si sviluppano esclusivamente all'orificio della campanella, ed esse si succedono tanto più rapidamente quanto più l'orificio è vicino al fondo del tubo.*

È facile il dimostrare che ogni bolla di vapore trascina con sè una piccola quantità d'aria. A tale scopo la campanella deve essere inclinata rispetto all'asse del tubo, in modo che, ad un dato momento, se ne possa volgere la superfice verso l'alto. L'aria ch'essa contiene si sviluppa e, ricondotta la campanella alla primitiva posizione, si può prendere al passaggio una bolla di vapore. Si sospende l'esperienza e, quando la bolla si è condensata, si scorge in cima alla campanella una piccola bolla d'aria, le di cui dimensioni variano a seconda del momento dell'ebollizione in cui venne raccolta la bolla di vapore. Ogni bolla di vapore trascina dunque con sè una piccola quantità d'aria continuamente decrescente. Il signor Gernez assicura che una bolla d'aria della grossezza di una capocchia di spillo, basta a mantenere l'ebollizione dell'aqua in un tubo per 24 ore. Si tiene il tubo inclinato onde l'aqua vaporizzata si condensi sulle pareti del tubo stesso e ricada quindi nella parte riscaldata; tal disposizione dispensa dall'aggiungere aqua, per prolungare l'ebollizione. Il numero di bolle di vapore che si sviluppano durante 24 ore a spese della piccola bolla d'aria, può stimarsi ad un mezzo milione.

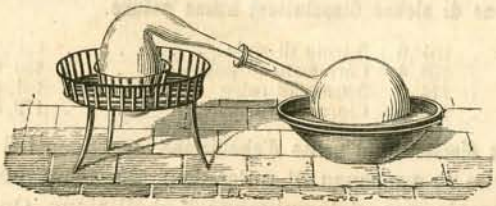


Fig. 290.

Quando si lasci raffreddare l'apparecchio può accadere che la bolla di gas venga assorbita dal liquido: diventa allora impossibile, scaldando di nuovo, di riprodurre l'ebollizione regolare. Se ne conclude che un'atmosfera gasosa è assolutamente necessaria per produrre e mantenere il fenomeno dell'ebollizione.

Le osservazioni precedenti spiegano il ritardo provato nell'ebollizione dall'aqua nei vasi di vetro accuratamente lavati, e la formazione caratteristica di grosse bolle di vapore, che danno luogo a delle scosse assai sensibili. Il fenomeno è assai più pronunciato coll'acido solforico; facendo bollire questo liquido in un vaso di vetro si formano, in contatto delle pareti, delle enormi bolle di vapore, le quali, in causa della viscosità del liquido, ne sollevano la massa e la lasciano in seguito ricadere. Si evita questo inconveniente facendo uso di una griglia circolare (fig. 290), per mezzo della quale si può scaldare solamente la parte superiore del liquido.

L'ebollizione dell'etere e dell'alcool presenta analoghe particolarità, sebbene che questi liquidi sieno assai poco vischiosi; essi disciolgono le materie grasse alla superfice del vetro, ne bagnano per conseguenza completamente le pareti e vi aderiscono assai fortemente.

328. Stato sferoidale. — Lo stato sferoidale costituisce un modo di vaporizzazione, che, senza essere essenzialmente diverso da quelli dei quali si è parlato, presenta ciò nonostante delle particolarità curiose ed interessanti.

Se si prende una lamina d'argento o di ferro ben levigato, e vi si versa sopra una goccia d'aqua, questa si spande sulla lamina e si evapora tanto più rapidamente quanto più la temperatura ne è elevata. Ciò però non ha luogo che entro certi limiti. Quando la temperatura della lamina sorpassa un certo punto, che per l'aqua sembra essere di 150° circa, si vede la gocciola d'aqua prender la forma di un globulo, che gira senza posa su sè stesso, si frastaglia, come lo mostra la fig. 291, presentando sempre contorni arrotondati, ed evaporandosi con una *certa lentezza*. Quest' ultima circostanza è importante e la si verifica facilmente coll'esperienza. Se si cessa dallo scaldare la lamina, questa si raffredda, e giunge un momento in cui il globulo si deprime, l'ebollizione si manifesta e il liquido si evapora e scompare rapidamente, producendo un crepitio più o meno intenso.

Questi fenomeni sono conosciuti da moltissimo tempo e furono già studiati da Leidenfrost e più tardi da Klaproth. Recentemente il S.r Boutigny ne ha fatto l'oggetto di ricerche assai dettagliate; è a lui che si deve il nome di *calefazione* e quello di *stato sferoidale*, col quale si indica la forma globulare che assumono i liquidi al contatto colle superfici metalliche abbastanza calde. Lo stato sferoidale si può produrre con qualunque liquido, anche assai volabile, come l'alcool e l'etere; si può far uso dell'acido solforoso, liquido che bolle a — 10°, del protossido d'azoto, liquido la di cui temperatura di ebollizione è di 70° sotto zero.

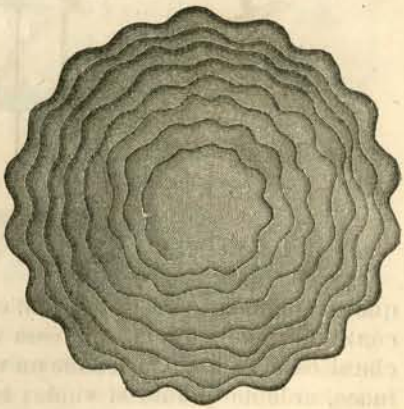


Fig. 291.

Si osserva che, durante lo stato sferoidale, il liquido non bolle. Ogni tanto, è vero, si vede formarsi nella massa qualche bolla di vapore che viene a rompersi alla parte superiore del globulo; ma

ciò è dovuto a qualche asperità della lamina, che solleva la superfice inferiore del globulo, in modo che il vapore non può più sfuggire che attraverso la massa; quando la superfice del metallo è perfettamente levigata ed unita, non si osserva alcuna bolla.

Se per mezzo di un termometro di piccolissimo serbatojo, o di una piccola sonda termo-elettrica, si misura la temperatura del liquido, si trova che essa è sempre un po' inferiore a quella della sua ebollizione.

329. Congelazione dell'aqua e del mercurio in un liquido allo stato sferoidale. — Se si arroventa un crogiuolo d'argento o di platino per mezzo di una lampada potente, e vi si versa poi dell'acido solforoso liquido, questo assume lo stato sferoidale e si mantiene ad una temperatura inferiore a — 10°. Per rendere sensibile questo fatto si versa sulla massa globulare una piccolissima quantità d' aqua, la quale si congela istantaneamente.

Nei corsi di fisica si eseguisce l' esperienza col protossido d' azoto; in questo caso si versa sul globulo del mercurio, che si solidifica istantaneamente.

Questo modo di esperimentare è dovuto al S.r Boutigny, il quale ha molto insistito sulla contraddizione che sembrano presentare

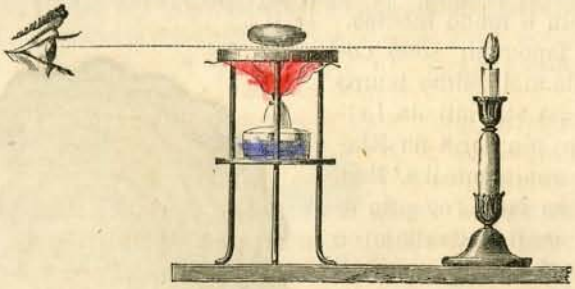


Fig. 292.

questi fenomeni colla legge dell'equilibrio di temperatura. Questa contraddizione è reale, ma essa è della stessa natura di quella che si osserva quando si pone un vaso contenente dell'aqua sopra un fuoco, ardente quanto si vuole; la temperatura, come si è visto, si mantiene a 100°, il calore del fuoco essendo esclusivamente impiegato a produrre l' evaporizzazione. Lo stesso ha luogo nei fenomeni di calefazione, come ora si vedrà.

330. Non vi ha contatto tra il globulo e la superfice metallica. — Il punto fondamentale della teoria dello stato sferoidale è la mancanza di contatto fra il liquido e la superfice metallica. Si dimostra questo fatto con una esperienza altrettanto rigorosa quanto semplice.

Si prende una lamina ben piana e la si dispone perfettamente

orizzontale sul suo supporto; ciò si ottiene per mezzo di viti di livello (fig. 292). Si scalda la lamina e su di essa si versano alcune goccie di aqua, che vi assumono lo stato sferoidale. Per mezzo di un filo di platino che penetra nel globulo, si trattiene questo verso il centro della lamina. È allora assai facile, ponendo un lume da una parte del globulo e traguardando dall'altra, di scorgere distintamente lo spazio che separa il globulo dalla lamina. L'esperienza può essere assai facilmente projettata per mezzo della luce solare o della luce elettrica.

Per questa specie d'isolamento del globulo, su tutta la sua superfice si produce una attiva evaporazione, la quale impedisce alla temperatura di elevarsi al punto di ebollizione. Al momento in cui cessa il contatto, la formazione di vapore diviene meno intensa di prima, giacchè il calore della lamina non si comunica al liquido che per irradiazione. Ma, contrariamente a quanto aveva supposto Klaproth, l'evaporazione è tanto più rapida, quanto più la temperatura della lamina è elevata.

La mancanza di contatto tra un liquido ed un metallo, o qualunque altro corpo scaldato a temperatura elevata, è reso evidente da diverse esperienze. Se, per esempio, si scalda al rosso vivo una sfera di platino (fig. 293) e la s'immerge nell'aqua alla temperatura ordinaria, si vede il liquido deprimersi e formare come una specie di guaina attorno alla bolla. Questa si mantiene rovente per qualche istante, e non è che allorquando la temperatura s'è abbassata fino a 150° circa, che il contatto può aver luogo. Accade allora una viva ebollizione nel liquido e si sviluppano abbondanti vapori.

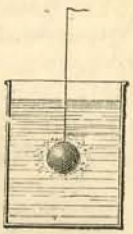


Fig. 293.

Se al disopra dell'aqua si fa fondere dello zuccaro e lo si lascia poi cadere in goccie sopra il liquido, queste goccie galleggiano qualche istante, abbenchè la loro densità sia più grande di quella dell'aqua; ma presto il contatto ha luogo, il globulo s'infrange, precipita nell'aqua e vi si discioglie.

Quando si pone un frammento di potassio sull'aqua, ha luogo un fenomeno affatto analogo. L'aqua è decomposta, il suo idrogeno si sviluppa e brucia con una fiamma rossa; l'ossigeno si combina col potassio per formare la potassa; il globulo di potassa galleggia sull'aqua senza esserne toccato, in causa della temperatura elevata a cui si trova. Dopo qualche istante il raffreddamento ha luogo ed il globulo, pel contatto coll'aqua si infrange con una piccola esplosione.

In quanto alla causa che impedisce il contatto di un metallo scaldato con un liquido, essa si riferisce evidentemente alla capil-

larità. Infatti il calore modifica le azioni capillari, e l in particolare essa diminuisce l'ascensione dei liquidi che bagnano i tubi. È dunque facile l'intenderè come, ad un certo limite di temperatura, i liquidi si trovino, rispetto ai metalli scaldati, nella stessa condizione del mercurio, per esempio, rispetto al vetro.

331. Distillazione. — La distillazione è una operazione assai anticamente conosciuta e che si presenta come un' applicazione del fenomeno dell'ebollizione. Questa operazione ha spesso per oggetto di separare un liquido dalle materie fisse che sono in esso sciolte. Tutte le aque naturali, per esempio, contengono in dissoluzione delle quantità più o meno grandi di sostanze saline, quali, il bicarbonato, il solfato, il fosfato di calce, il cloruro di sodio, ecc. Pei diversi usi della chimica occorre di sbarazzare l'aqua da queste diverse sostanze, così da ottenerne un liquido affatto puro. Serve a ciò l'apparecchio detto alambicco. Esso è formato (fig.ª 294) da

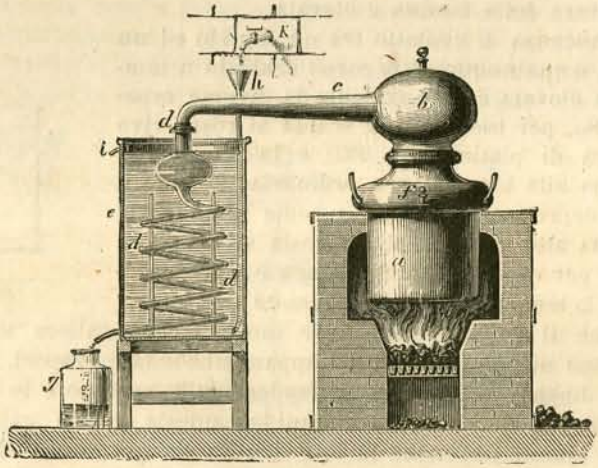


Fig. 294.

una specie di storta *a*, detta rucurbita, chiusa da un capitello *b* il quale, per mezzo della parte *c*, comunica con un tubo avvolto ad elica *d d*, detto *serpentino*. Questo serpentino è posto nel vaso *e* contenente dell'aqua fredda. L'aqua contenuta nella cucurbita viene portata all'ebollizione, il vapore passa a condensarsi nel serpentino, e l'aqua distillata è raccolta nel vaso *g*.

Mano mano che il vapore si condensa, l'aqua del refrigerante si scalda, ed è importante di cambiarla. A questo scopo, un tubo immerso fino al fondo del refrigerante riceve alla parte superiore *h* dell'aqua fredda, che arriva in modo continuo dal robinetto

K; si produce dunque nel vaso *e* un eccesso di livello, ed il liquido effluisce dal tubo *i*, posto alla parte superiore; siccome la parte superiore del liquido è appunto la più calda, si vede come con questa disposizione si possano eliminare, per così dire in modo continuo, gli strati più caldi. Si riempie la caldaia presso a poco per tre quarti; si può di tempo in tempo aggiungere aqua dalla tubulatura *f*, ma è conveniente di non spingere troppo la distillazione e di rigettare il liquido della caldaja quando il suo volume è ridotto al quarto od al quinto dell'iniziale. Sorpassando questo limite si potrebbe temere che qualcuna delle materie fisse contenute nell'aqua, si decomponesse, dando dei prodotti che, mescolandosi coll'aqua distillata, ne altererebbero la purezza.

332. Distillazione dei liquidi alcoolici. — Quando si distilla un miscuglio di due liquidi diversamente volatili, al primo momento si ottiene un miscuglio nel quale la proporzione del liquido più volatile riesce aumentata. Operando allo stesso modo sul miscuglio ottenuto, si ottiene un risultato analogo, e, dopo parecchie distillazioni successive, si ottiene un miscuglio nel quale il liquido volatile è predominante, senza però che sia possibile di avere quest'ultimo allo stato di purezza. È così che si ottenevano dal vino gli spiriti conosciuti sotto il nome di rettificati. Ma queste operazioni ripetute, oltre all'inconveniente di aumentare il prezzo del prodotto, danno a questo un sapore empireumatico, assai difficile da togliersi.

Si ottengono facilmente oggidì degli alcool rettificati a primo getto, per mezzo di apparecchi di distillazione perfezionati. Il principio dell'apparecchio conosciuto sotto il nome di apparecchio Laugier, rappresentato dalla figura 295, consiste nell'allontanare il refrigerante propriamente detto dalla caldaja; nel tragitto si trova un secondo refrigerante, nel quale si condensa in ispecial modo il liquido meno volatile; il miscuglio raccolto in questa parte dell'apparecchio, detta rettificatore, è ricondotto nella caldaja per subirvi nuovamente l'azione del calore. Di più, s'impiega il vino od il liquido alcoolico sul quale si opera, per raffreddare il serpentino; ciò permette di utilizzare la quasi totalità del calore fornito dal focolajo.

L'apparecchio è formato da due caldaje, una *A* montata direttamente sul focolajo, l'altra *B* scaldata dal calore perduto da questo.

La prima è munita di un robinetto di scarico e di un indicatore di livello a tubo; la sua parte superiore comunica colla seconda caldaja per mezzo di un tubo *t'*, che pesca al fondo del liquido ed è terminato a modo d'inaffiatojo. Un altro tubo *t* pone in comunicazione il fondo della caldaja *B* colla parte inferiore della caldaja *A*.

Dalla caldaja *B* il vapore si sfoga per un tubo (*b*) che lo porta nel rettificatore, che, per semplicità, diremo *R*. Questo è formato da 6 o 7 tronchi d'elica, dei quali, la parte più bassa, dove si riunisce il liquido condensato, riesce ad un tubo di ritorno (*c*), che si apre esso stesso nella caldaja *B*. Il vapore non condensato passa nel refrigerante *R'*, posto alla sinistra del rettificatore, ed il liquido distillato effluisce in un vaso, nel quale si trova immerso un alcoometro.

Per mezzo di un robinetto (*r*), che si vede alla parte superiore, giunge il vino od il liquido alcoolico che si deve distil-

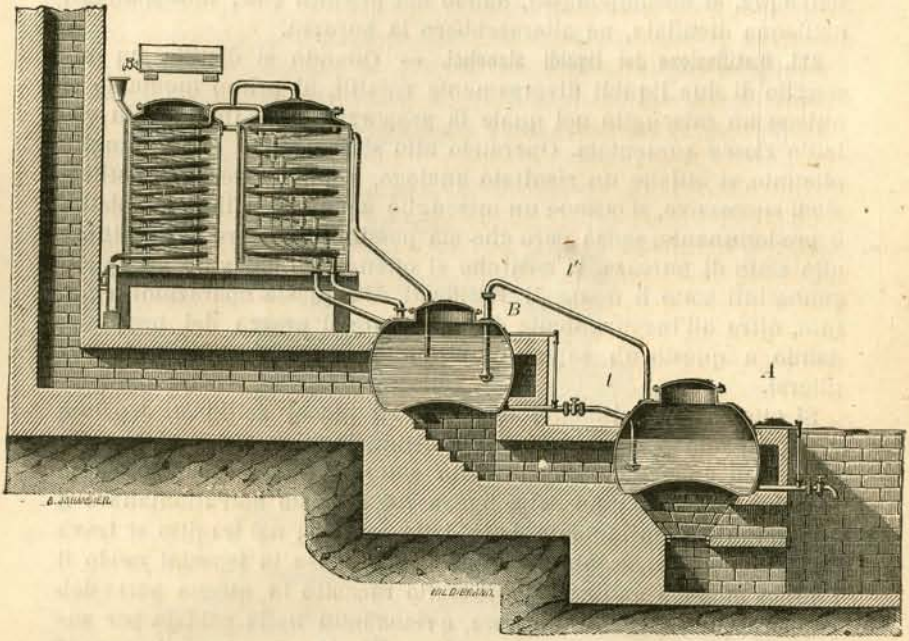


Fig. 295.

lare. Questo liquido riempie dapprima il refrigerante, passa nel rettificatore, e da questo nella caldaja *B*, per mezzo del tubo *a*, comunicante colla parte superiore del rettificatore *R*. Quando il liquido ha raggiunto il pomo d'innaffiatoio, ciò che si riconosce all'ispezione dell'indicatore di livello, si fa cessare l'afflusso, si riempie per tre quarti la caldaia *A*, e si scalda. In questo tempo la parte più aquosa del vapore si condenza nella caldaja superiore, dove vi è ricondotta dal rettificatore, insieme alla parte alcoolica che giunge dal serpentino. Il volume di liquido aumenta dunque nella caldaja *B* e diminuisce nella caldaja *A*; quando in questa il volume è ri-

dotto al terzo o al quarto, secondo la ricchezza del liquido alcoolico, si apre il robinetto di scarico per evacuare il *vinello*. Si lascia allora arrivare del liquido dalla caldaja *B* nella caldaja *A*, in modo da riempire questa allo stesso livello della prima volta, e si apre di nuovo il robinetto *r*, il quale deve in seguito rimaner sempre aperto. La caldaja *B* riceve dunque del liquido da tre parti differenti: 1.° quello che arriva direttamente dal tubo *a*; 2.° quello che proviene dal rettificatore, 3.° quello che deriva dalla condensazione del vapore fornito dalla caldaja *A*. L'apertura del robinetto di alimentazione *r* deve essere tale che, per mezzo delle tre sorgenti riunite, la caldaja *B* si trovi riempita nel tempo che, in causa della riduzione di volume nella caldaja *A*, il liquido che questa contiene vien totalmente trasformato in vinello. Si evacua allora quest'ultimo, e si rincomincia alla stessa maniera indefinitamente.

333. Circostanze che favoriscono l'evaporazione. — Le spiegazioni date intorno alla formazione dei vapori, permettono di stabilire quali sono le circostanze che attivano l'evaporazione, e danno la maggior quantità di vapore in un tempo determinato.

Se si tratta di un vaso aperto all'aria e non sottoposto all'azione del fuoco, l'evaporazione riesce tanto più attiva, quanto più estesa è la superfice libera del liquido, quanto più l'aria è secca e quanto più vivamente essa vien rinovata alla superfice del liquido. Quando si tratta di un generatore scaldato da un focolajo, l'evaporizzazione dipende specialmente dalla estensione della *superfice di riscaldamento*, vale a dire, da quella parte di superfice che è bagnata all'interno dal liquido, e riceve all'esterno direttamente l'azione del fuoco. È infatti sulle pareti, come si è visto, che, in causa della presenza dell'aria ad esse aderente, si formano specialmente le bolle di vapore durante l'ebollizione.

CAPITOLO VI.

MISURA DELLA TENSIONE MASSIMA E DELLA DENSITÀ DEI VAPORI.

334. Apparecchio di Dalton. — Il fisico inglese Dalton si è pel primo occupato con qualche esattezza della determinazione della tensione massima del vapor d'aqua a diverse temperature. Egli fece uso di un apparecchio (fig. 296) che ha conservato il suo nome. Due tubi barometrici *A*, *B* pescano nella stessa vasca *H*; uno è un barometro ordinario, l'altro è un *barometro a vapore*, vale a dire un tubo barometrico nel quale si è fatto passare sopra la colonna di mercurio una piccola colonna d'aqua. I due tubi, mantenuti in posto dal supporto *C D*, sono circondati da un manicotto di vetro contenente dell'aqua, che si può portare a diverse temperature per mezzo di un sottoposto fornello. S'incomincia dal riempire il manicotto con ghiaccio fondente e, spostando i frammenti di ghiaccio, si legge la

differenza di livello del mercurio nei due barometri; questa differenza misura la forza elastica del vapore alla temperatura 0°. Si sostituisce in seguito l' aqua al ghiaccio e si regola l'azione del fuoco in modo, da ottenere diverse temperature comprese tra 0° e 100°, e da mantenerle stazionarie per qualche istante, per mezzo dell' agitatore p q; ad ogni volta si misura la differenza corrispondente di livello del mercurio nei barometri; si hanno così degli elementi che, completati per interpolazione, o con processi grafici, danno la tavola conosciuta per molto tempo

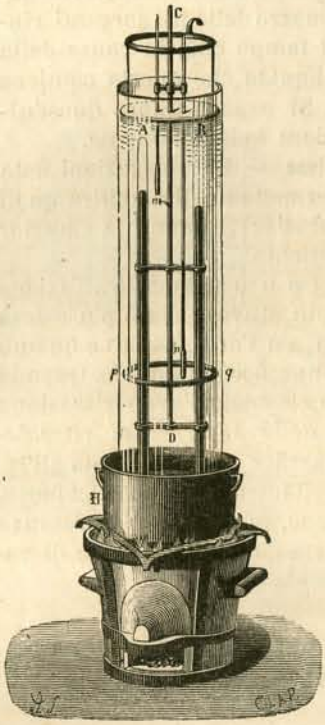


Fig. 296.

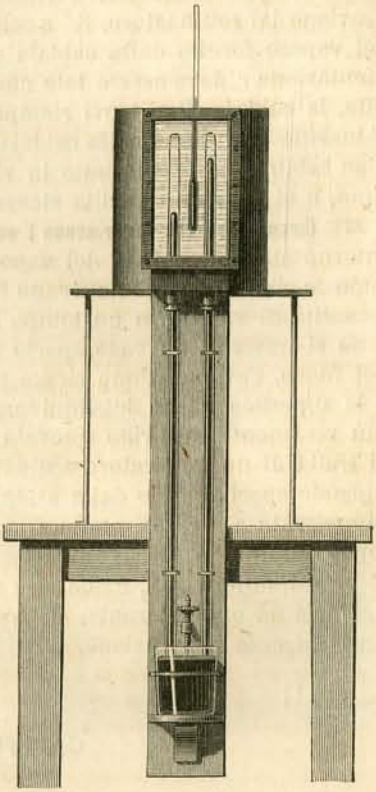


Fig. 297.

sotto il nome di tavola di Dalton, che contiene i valori delle forze elastiche del vapore d'aqua, comprese tra 0° e 100°. Il processo non può del resto servire al di là di quest'ultima temperatura, giacchè a 100°, la tensione del vapore essendo eguale alla pressione esterna, il livello del mercurio nel barometro a vapore scende fino al livello del metallo nella vasca e l'osservazione non può essere più oltre spinta.

335. Modificazioni di Regnault. — Il metodo di Dalton è difettoso sotto diversi punti di vista: infatti, è impossibile che la temperatura, verso i 70°, 75° e al di là, sia uniforme in una colonna tanto grande; d'altra parte, l' osservazione

del livello attraverso la sostanza del manicotto, presenta molte cause d'incertezza. Regnault, pur conservando il metodo, non lo ha adoperato che fino alla temperatura di 50°. A questa temperatura la tensione del vapore non essendo che di 9 centimetri circa, è inutile di scaldare l'intiera lunghezza del barometro.

La figura 297 rappresenta l'apparecchio modificato. I due tubi barometrici, di 14 millimetri di diametro interno, attraversano due tubulature praticate nel fondo di una cassa metallica. Sopra una delle faccie della cassa è praticata una grande apertura, chiusa da una lastra di vetro, attraverso alla quale si possono leggere assai esattamente i livelli interni. In ragione della poca altezza della colonna liquida è assai facile, avvicinando più o meno la fiamma di una lampada ad alcool alla cassa, di mantenere, durante un tempo sufficiente, una temperatura qualunque compresa fra 0° e 50.

La differenza di livello delle due colonne di mercurio deve essere ridotta, per correzione, a 0°. Bisogna pure tener conto della piccola colonna d'aqua che si trova sopra al mercurio nel barometro a vapore; essa agisce col suo peso a produrre una depressione.

Questo apparecchio è facilmente applicabile al caso delle basse temperature. Con una semplice modificazione può essere adoperato fino a 30° al disotto di 0°. L'estremità superiore del barometro a vapore è affilata e masticata in un piccolo tubo di rame a tre rami, di cui il secondo ramo comunica colla macchina pneumatica, ed il terzo con un pallone di vetro di 300 centimetri cubici circa di capacità. In questo pallone si trova una piccola ampolla di vetro sottile, contenente dell'aqua completamente privata d'aria coll'ebollizione. Si fa il vuoto successivamente per un certo numero di volte per la via del tubo a tre rami, ed a ciascuna volta si lascia entrare dell'aria passata sopra materie disseccanti. Dopo l'ultima operazione si chiude alla lampada il tubo che stabiliva la comunicazione colla macchina pneumatica, si pone del ghiaccio nella cassa, si misura qual'è la forza elastica a 0° dell'aria secca che la macchina pneumatica ha lasciata nell'apparecchio; questa forza elastica è però sempre assai piccola. Si avvicina allora qualche carbone acceso al pallone, l'ampolla scoppia ed il vapore si spande nello spazio. L'apparecchio così preparato si adopera come il precedente; basta far variare la temperatura dell'aqua contenuta nella cassa e osservare la differenza di livello, tenendo conto anche della forza elastica dell'aria rimasta.

Per servirsi dell'apparecchio a temperature inferiori a quelle del ghiaccio fondente si sopprime la cassa e si pone *il solo pallone* in una campana, in cui si trova un miscuglio refrigerante; i tubi barometrici si trovano allora all'aria esterna.

In questo caso, lo spazio occupato dal vapore si trova a due temperature differenti, ma è chiaro che non vi può essere equilibrio finchè la tensione non sia la stessa in ogni parte. Quindi, nel pallone, questa tensione non può sorpassare la tensione massima corrispondente alla temperatura più bassa; è questa dunque la tensione che regna in tutto lo spazio, questa la tensione misurata dalla differenza di livello del mercurio nei due barometri.

In realtà le cose si passano nel modo seguente: in causa della temperatura che regna nel pallone, il vapore si condensa in parte ed il rimanente assume la corrispondente tensione; ne risulta una rottura d'equilibrio, una nuova quantità di vapore si forma, giunge nel pallone, vi si condensa, e così di seguito fino a che la tensione sia dappertutto quella che corrisponde alla temperatura più bassa. Questa condensazione di vapore nella parte fredda dello spazio da esso occupato, venne utilizzata da Watt nella macchina a vapore e forma il principio del *condensatore*.

Gay-Lussac aveva già utilizzato questo principio in modo analogo a quello usato da Regnault, per misurare le tensioni dei vapori alle basse temperature.

Facendo uso di miscugli di cloruro di calcio e di quantità successivamente crescenti di neve o di ghiaccio, si può abbassare la temperatura fino a — 52° e constatare che, a questa bassa temperatura, la formazione di vapore è ancora assai sensibile.

336. Misura della tensione massima del vapore a temperature superiori a 50°. — Per le temperature superiori a 50° Regneault ha approfittato del fatto che, alla temperatura di ebollizione, la tensione massima del vapore prodotto è eguale alla pressione agente sul liquido.

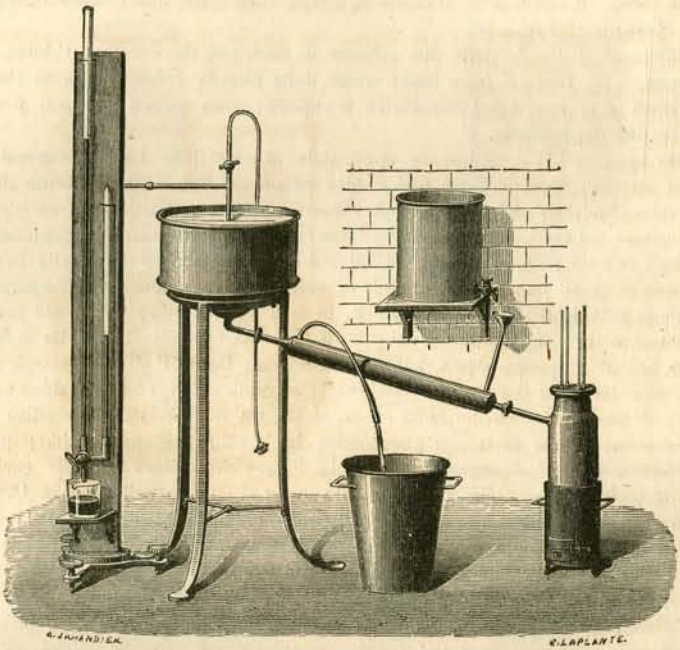


Fig. 298.

Il suo apparecchio si compone di una caldaja di rame (fig. 298) contenente dell'aqua, che può essere portata a temperature differenti, misurate da termometri assai precisi. Il vapore prodotto si eleva lungo un tubo inclinato e costantemente raffreddato per mezzo di una corrente d'aqua; in questo modo il vapore condensato ritorna alla caldaia e le esperienze possono prolungarsi a volontà. Il tubo termina alla parte inferiore di un gran serbatojo nel quale si può rarefare o comprimere l'aria, a seconda delle circostanze; questo serbatojo comunica poi con un manometro. La figura rappresenta l'apparecchio che ha servito per pressioni spinte fino a cinque atmosfere. Per pressioni più elevate, che hanno raggiunto 28 atmosfere, l'apparecchio era perfettamente fondato sullo stesso principio, ma costruito in più grandi dimensioni e di maggiore resistenza. Il manometro impiegato in questo caso è quello di cui si è parlato in proposito alla legge di Mariotte.

L'andamento dell'esperienza è facile ad intendersi; si rarefa l'aria nel serbatojo fino a che l'ebollizione dell'aqua si produca verso 50°. È facile di assicurarsi che l'ebollizione ha luogo effettivamente, dal rumore caratteristico che l'accompagna e più ancora per l'invariabilità di temperatura. Quest'ultima circostanza, che permette ai termometri di mettersi esattamente in equilibrio di temperatura coll'aqua, costituisce il merito principale di questo metodo. La forza elastica indicata dal manometro al momento dell'ebollizione, è precisamente uguale alla tensione del vapore prodotto. Lasciando entrare gradatamente l'aria nel serbatojo, le temperature vanno successivamente elevandosi fino a 100°. A partire da questo momento l'aria, invece che rarefatta, deve essere gradualmente compressa nel serbatojo.

I risultati ottenuti colle ricerche di cui si è parlato vennero dati nella tavola a pagina 276.

337. Densità dei vapori. — La densità del vapore di una sostanza qualunque costituisce un elemento della più grande importanza sotto il punto di vista della chimica, giacchè la densità è strettamente legata al valore dell'equivalente chimico della sostanza stessa (1). I chimici per determinare questa densità non possono far uso del metodo descritto al paragrafo 280, il quale non si applica che ai gaz più o meno lontani dal loro punto di liquefazione, alle temperature ordinarie. Essi adoperano ordinariamente un processo dato da Dumas e che consiste, in generale, nell'operare ad una temperatura abbastanza elevata, così che qualunque sostanza sottoposta all'esperienza, sia di certo ridotta in vapore.

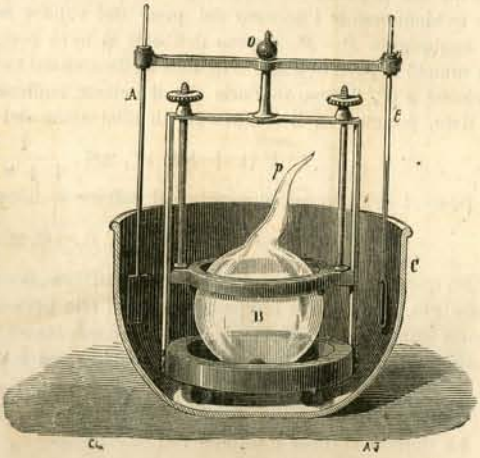


Fig. 299.

338. Processo di Dumas. — Si fa uso di un pallone in vetro *B* (fig. 299) nel quale s'introduce la sostanza che deve essere ridotta in vapore; lo si pone in seguito in un vaso *C* contenente un liquido, del quale si possa elevare più o meno la temperatura, a seconda delle circostanze.

Se per evaporizzare la sostanza non si ha bisogno di una temperatura superiore a 100°, può servire un bagno d'aqua bollente. Per ottenere temperature superiori si può far uso di aqua in cui sieno disciolte sostanze solide, od anche delle leghe fusibili. In qualunque caso è necessario di agitare il liquido, onde esso presenti un'egual temperatura in tutte le parti: questa temperatura è data dal termometro *t*.

(1) Il rapporto delle densità di due corpi allo stato di vapore è eguale al rapporto dei loro equivalenti, od a questo rapporto moltiplicato per un numero semplice. Questa relazione, in chimica è conosciuta col nome di legge di Gay-Lussac.

Mano mano che si scalda, la sostanza sulla quale si opera si vaporizza, ed il vapore sfugge trascinando con sè l'aria. Quando il getto di vapore cessa, si può ammettere, se la sostanza venne presa in sufficiente quantità, che tutta l'aria sia stata espulsa e che il pallone è pieno del vapore alla temperatura T, data dal termometro, ed alla pressione H. Si chiude allora alla lampada l'estremità affilata p.

339. Calcolo dell'esperienza. — Le densità dei vapori che si trovano nelle tavole, sono generalmente riferite all'aria; esse esprimono *il rapporto del peso del vapore al peso di un egual volume d'aria, in uguali condizioni di temperatura e di pressione.* Per dedurre questo rapporto dall'esperienza precedente, bisogna dapprima cercare il peso del vapore. A questo scopo, quando il pallone pieno di vapore si è raffredato, lo si pesa e si ottiene un certo peso P. Prima della esperienza si era pesato il pallone pieno d'aria secca ad una temperatura t e ad una pressione h nota. Sia P' il peso così ottenuto; la differenza $P - P'$ da evidentemente l'eccesso del peso del vapore sul peso dell'aria. Se dunque si aggiunge a $P - P'$ il peso dell'aria si avrà precisamente il peso del vapore. In quanto al peso dell'aria si deduce facilmente dal volume del pallone: sia V questo volume a 0°, il peso dell'aria che il pallone conteneva al momento della pesata è dato, ponendo K il coefficiente di dilatazione del vetro, dall'espressione:

$$V(1 + Kt)\, 1^{gr},293 \,.\, \frac{1}{1 + \alpha t} \,.\, \frac{h}{760};$$

il peso A del vapore contenuto nel pallone è dunque:

$$A = P - P' + V(1 + Kt) \,.\, 1^{gr},293 \,.\, \frac{1}{1 + \alpha t} \,.\, \frac{h}{760}$$

Ma questo vapore, quando si è chiuso il pallone, occupava un volume $V(1 + KT)$; esso era, di più, alla temperatura T ed alla pressione H. Per averne la densità basta dunque dividere A pel peso A' di uno stesso volume d'aria, alla stessa temperatura ed alla stessa pressione. Questo peso è dato dall'espressione:

$$A' = V(1 + KT) \,.\, 1^{gr},293 \,.\, \frac{1}{1 + \alpha T} \,.\, \frac{H}{760}.$$

La densità cercata è dunque:

$$D = \frac{A}{A'} = \frac{P - P' + V(1 + Kt) \,.\, 1^{gr},293 \,.\, \frac{1}{1 + \alpha t} \,.\, \frac{h}{760}}{V(1 + KT) \,.\, 1^{gr},293 \,.\, \frac{1}{1 + \alpha T} \,.\, \frac{H}{760}}$$

L'esattezza di questa formola suppone che non sia rimasta aria nel pallone. Per assicurarsi del fatto, si rompe la punta p del pallone, sotto il mercurio; il liquido si precipita nel pallone e lo riempie intieramente, qualora effettivamente l'aria sia stata completamente scacciata.

Questa esperienza fornisce d'altronde il mezzo di calcolare V, giacchè basta pesare il mercurio contenuto nel pallone e versarlo in una provetta graduata per averne il volume alla temperatura a cui si trova, dal quale si deduce poi facilmente il volume V a 0°.

Il processo di Dumas venne utilmente modificato dai signori Deville e Troost pel caso in cui si debba operare a temperature elevate. Queste temperature sono prodotte dalla ebollizione di diverse sostanze, il cloruro di zinco, il cadmio che bolle ad 860°, lo zinco che bolle a 1040°. Al disopra di 800° il pallone di vetro è sostituito da un pallone di porcellana e si chiude al cannello a gaz. Circa alla temperatura, essa si può determinare per mezzo del pallone stesso, adoperato

come pirometro; invece però di far uso dell'aria, la quale non ha che un peso debolissimo alle temperature elevate, vi si sostituisce un vapore più pesante, quello di jodio per esempio. Ammettendo, ciò che è assai probabile, che alle elevate temperature il coefficiente di dilatazione del vapore di jodio sia lo stesso di quello dell'aria, dal peso del jodio contenuto nel pallone si deduce facilmente la temperatura. Ecco una tavola delle densità di alcuni vapori, ottenute col metodo precedente.

Aqua	0,622	Fosforo	4,5
Alcool	1,6138	Cadmio	3,94
Etere	2,586	Cloruro d'alluminio	9,547
Essenza di terebenteno	5,0150	Bromuro d'alluminio	18,62
Jodio	8,716	Cloruro di zirconio	8,1
Solfo	2,25	Sesquicloruro di ferro	11,39

340. Metodo di Gay-Lussac. — Gay-Lussac ha determinato la densità del vapor d'aqua e di quello di alcuni altri liquidi, con un metodo un po' più complicato del precedente e che perciò non è adottato nella pratica di laboratorio. Lo si descrive, ciò nonostante, in causa dell'importanza della questione che con questo metodo venne risolta, e per l'interesse storico.

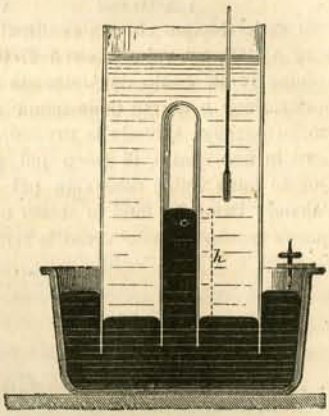


Fig. 300.

Sopra il mercurio contenuto in una vasca di ghisa, si capovolge una provetta graduata, per es. in centimetri cubici, e piena dello stesso metallo (fig. 300). Un manicotto di vetro contenente dell'aqua circonda la provetta, disposizione questa analoga a quella dell'apparecchio di Dalton. Si fa passare alla parte superiore della provetta una piccola ampolla di vetro contenente un peso p dato di aqua pura. Si eleva allora la temperatura dell'apparecchio, per mezzo di un sottostante fornello; ad un certo momento l'ampolla si spezza e l'aqua che essa contiene si riduce in vapore. Se non è troppo grande la quantità d'aqua, essa si riduce tutta in vapore; questa condizione è soddisfatta se alla temperatura di 100° circa il livello del mercurio nella provetta si eleva al disopra del livello esterno, giacchè, se vi si fosse del liquido, lo spazio sarebbe saturo e la tensione sarebbe eguale alla pressione esterna. Con questo modo di esperimentare si ha dunque il peso di un volume determinato di vapor d'aqua. Questo volume, letto direttamente sulla provetta è, $V(1 + KT)$, essendo V il numero di divisioni occupato dal vapore; la temperatura T è data da un termometro immerso nell'aqua del manicotto. In quanto alla pressione essa è eguale alla pressione esterna diminuita dell'altezza h del mercurio nella provetta.

Onde ottenere la densità basta dunque dividere p pel peso di un volume $V(1 + KT)$ di aria alla temperatura T ed alla pressione $H-h$:

$$D = \frac{p}{V(1 + KT).\ 0,^{gr}001293.\ \frac{1}{1 + \alpha T}.\ \frac{H-h}{760}}.$$

Gay-Lussac ha così trovato per densità del vapor d'aqua circa $^5/_8$ ossia 0,625.

Dalle recenti determinazioni la media ottenuta è 0,622, numero questo che concorda colla densità teorica dedotta dalla composizione dell'aqua (1).

341. Volume di vapore formato da un dato peso d'aqua. — La conoscenza della densità del vapor d'aqua permette di calcolare l'accrescimento di volume provato dall'aqua nel passare allo stato di vapore. Si consideri, ad esempio, un centimetro cubo d'aqua a 4° e si cerchi il volume che esso occuperà allo stato di vapore a 100°. A questa temperatura la tensione del vapore è di 760 millimetri, mentre il suo peso è eguale a 0,622 del peso di un ugual volume d'aria, in uguali condizioni di temperatura e di pressione. Se dunque V è questo volume espresso in litri si avrà:

$$V \,.\, 1,^{gr}293 \,.\, \frac{1}{1 + 100\,\alpha} \,.\, 0,622 = 1^{gr}$$

da cui:

$$V \,.\, \frac{1 + 100\,\alpha}{1,293 . 0,622} = \frac{1,366}{0,804246} = \text{lit. } 1,698 = 1698 \text{ cent. cub.}$$

Si vede dunque che un centimetro cubo di aqua a 4°, occupa allo stato di vapore a 100°, un volume circa 1700 volte maggiore. Questo enorme aumento di volume rende conto dell'intensità del lavoro molecolare corrispondente alla vaporizzazione e quindi della quantità considerevole di calore necessaria a questa trasformazione. Quando la pressione è assai grande, il liquido può ridursi in vapore in uno spazio di poco più grande di quello occupato dal liquido stesso. Questo fatto venne osservato pel primo da Cagniard-Latour per l'etere e per l'alcool; Drion ha fatta la stessa osservazione coll'etere cloridrico, il quale prova questa trasformazione verso la temperatura di 170°.

CAPITOLO VII.

IGROMETRIA E METEOROLOGIA.

342. Stato igrometrico. — Si dà il nome di igrometri ad istrumenti destinati a misurare la quantità di vapore sparso nell'atmosfera, o, ciò che equivale, la forza elastica di questo vapore. Questa determinazione è assai importante per la meteorologia.

Si osservi però che i fenomeni meteorologici, i quali son legati allo stato di umidità dell'aria, dipendono, non tanto dalla quantità assoluta di vapore che l'aria contiene, quanto dal rapporto tra questa quantità e quella che vi si troverebbe se l'aria ne fosse satura. Si capisce infatti che la saturazione, per esempio, costituisce uno stato speciale, nel quale le più piccole modificazioni possono produrre la condensazione del vapore; ma a questa saturazione cor-

[1] L'aqua è composta di 2 volumi d'idrogeno ed 1 volume di ossigeno, formanti 2 volumi di vapor d'aqua. La somma della densità dell'ossigeno e di 2 densità dell'idrogeno è 1,244, la di cui metà è appunto 0,622.

rispondono quantità assolute di vapore assai diverse a seconda delle temperature. Parimenti, l'aria è più o meno umida a seconda che essa è più o meno vicina alla saturazione, e lo stesso grado di umidità corrisponde, secondo la temperatura, a quantità di vapore assai diverse.

Dicesi *stato igrometrico* il rapporto che passa tra la quantità di vapore sparso nell'aria e quello che vi si troverebbe se l'aria fosse satura, o, ciò che equivale, il rapporto tra la forza elastica del vapore che si trova nell'atmosfera e la tensione massima corrispondete alla temperatura ambiente. È questo rapporto che definisce, nel vero senso della parola, il grado di umidità dell'aria. È il rapporto stesso che si deve in definitiva proporsi di determinare cogli igrometri.

Si hanno diverse classi di igrometri: 1° gli igrometri di assorbimento, fondati sui cambiamenti di forma o di volume provati da certe sostanze sotto l'azione dell'umidità; 2° gli igrometri di condensazione, fondati sul grado di raffreddamento che deve subire l'aria per esser ridotta al punto di saturazione; 3° gli igrometri di evaporazione, ordinariamente detti *psicrometri*, fondati sull' abbassamento di temperatura prodotto dall'evaporazione. Ecco la descrizione dei principali fra questi igrometri.

343. Igrometri d' assorbimento. — La maggior parte delle sostanze minerali, e sopratutto le sostanze organiche, assorbono più o meno l'umidità dell'aria nella quale si trovano immersi, e si pongono coll'aria in un certo stato d'equilibrio, tale che l'affinità della sostanza per l' umidità sia uguale alla forza colla quale il liquido tende a vaporizzarsi. Ne segue che, a seconda dello stato igrometrico dell'aria, una sostanza assorbirà od emetterà del vapore, circostanze sempre accompagnate da corrispondenti variazioni nelle dimensioni del corpo. Queste variazioni dipendono esse stesse dal modo speciale di struttura delle sostanze; è così, per esempio, che i corpi costituiti di filamenti provano proporzionalmente un'accrescimento più ragguardevole nel senso del diametro che in quello della lunghezza. Le membrane, come la cartapecora, la carta, formati da un intralciamento di fibre in tutti i sensi, si distendono o si ristringono come se fossero omogenei. I corpi a fibre torte, come le le funi, si gonfiano, si raccorciano e si torcono maggiormente. Un fenomeno di questa specie, ma in senso inverso, ha luogo per le corde di budello, le quali vengono sovente impiegate per farne igroscopi, mancanti però di qualunque precisione. Un pezzetto di corda da violino è fissa invariabilmente ad una delle sue estremità; l'estremità libera è collegata con un pezzo mobile, le di cui posizioni variano col grado di umidità. La figura 301 rappresenta una disposizione molto comune di questi igroscopi. L' estremità della

Fig. 301.

corda porta il cappuccio, il quale, nell'aria secca rimane abbassato: se l'umidità aumenta, la corda, storcendosi, riconduce il cappuccio sulla testa della figurina.

L'igrometro di Wilson è formato da una specie di termometro avente per serbatojo una vescica di sorcio; Deluc sostituì la vescica con una sottile bolla d'avorio. Tutti questi istrumenti mancano di precisione e sono, di più, fortemente influenzati dalle variazioni di temperatura.

344. Igrometro di Saussure. — L'igrometro di Saussure è un istrumento suscettibile di una sufficiente precisione; esso è fondato sull'aumento di lunghezza provato dai capegli sotto l'azione dell'umidità.

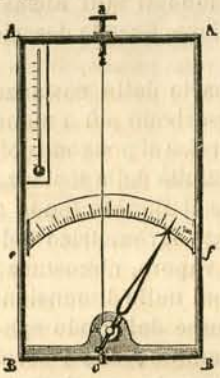


Fig. 302.

L'apparecchio è formato (fig. 302) da un telaio AB, alla parte superiore del quale si trova una pinzetta destinata a tenere l'una delle estremità di un capello. L'altra estremità di questo è fissata, e parzialmente avvolta, alla gola di una piccola carrucola b assai leggera e mobile. Un filo di seta, avvolto in senso opposto e fissato ad una seconda gola della carrucola, porta alla sua estremità un piccolo peso c di 2 a 3 decigrammi, destinato a mantenere il capello costantemente teso. All'asse della puleggia è fissato, pel suo centro di gravità, un indice che scorre su di un quadrante graduato ef. Dietro queste disposizioni, si capisce che, se, in causa di un'aumento di umidità, il capello viene ad allungarsi, l'indice si muoverà verso il punto e; la diminuzione di vapore nell'aria ambiente darà luogo ad un movimento inverso.

I capegli devono subire, prima di essere adoperati, una preventiva preparazione, la quale ha per iscopo di liberarli dalla materia grassa di cui sono abitualmente coperti. A tale scopo si può, come usava l'inventore dell'istrumento, immergerli per qualche tempo in una dissoluzione di bicarbonato di soda cristallisato, lavarli in seguito a grand'aqua e farli in seguito asciugare. Sembra però preferibile, onde non esporsi ad un alterazione permanente nella

struttura dei capelli, di lasciarli durante ventiquattro ore nell'etere solforico.

345. Graduazione dell'igrometro. — La graduazione dell'igrometro si fa, come quella del termometro, per mezzo di due punti fissi; l'umidità estrema, e l'assoluta secchezza; il primo punto è segnato 100° ed il secondo 0°. Le dimensioni del capello devono essere tali che questi due punti corrispondano press'a poco alle estremità del quadrante *ef;* a regolare le cose in tal modo serve la vite posta alla parte superiore del telajo, la quale permette di sollevare o di abbassare di qualche poco l'estremo del capello.

Il punto di massima umidità si ottiene sospendendo l'igrometro alla parte superiore di una campana, le di cui pareti furono bagnate e che riposa anche sopra dell'aqua. Dopo qualche ora l'aria è completamente satura e l'indice si ferma invariabilmente in una certa posizione; è il punto 100 della graduazione. Onde determinare lo 0, si pone l'apparecchio in una massa d'aria completamente dissecata. Saussure adoperava come sostanza dissecante del cremore di tartaro fuso; oggigiorno si fa più spesso uso di calce viva o di acido solforico concentrato. Questa seconda determinazione esige un tempo assai più lungo di quello necessario all'altra determinazione; qualche volta occorrono più giorni, dopo i quali non si può essere ancora ben certi che la dissecazione del capello sia assoluta. Saussure aveva proposto il seguente metodo per riconoscere se tale risultato era ottenuto. Si espone l'igrometro al sole; se il capello è ancora umido ha luogo una nuova disseccazione e l'indice si muove verso lo 0. Se invece il capello è completamente secco, non potrà subire che un fenomeno di dilatazione, il quale ha per effetto di far muovere l'indice nel senso dell'umidità. Ma questo mezzo può essere illusorio giacchè, se la quantità d'aqua che rimane nel capello è assai piccola, la sua evaporazione può dar luogo ad un movimento meno significante di quello che dipende dalla dilatazione; l'effetto di questa sarà dunque predominante, senza che perciò se ne debba concludere che la perfetta dissecazione sia raggiunta (1).

346. Costruzione della tavola dell'igrometro. — L'igrometro di Saussure non dà direttamente lo stato igrometrico; è perciò necessario di costruire una tavola dei gradi di umidità corrispondenti alle indicazioni dell'igrometro. Saussure aveva tentato di risolvere la questione con un processo semplice, ma alquanto grossolano. Egli in-

[1] Del resto è affatto inutile di determinare la posizione del punto 0°, giacchè l'aria non è mai completamente secca; anzi tal determinazione può esser dannosa, essendo probabile che lo stato di completa secchezza alteri il capello.

NOTA DEL TRADUTTORE.

troduceva l'igrometro in un pallone insieme ad un pannilino bagnato e preventivamente pesato; dalla diminuzione di peso si deduceva la quantità di vapor aqueo sparso nel pallone. Gay-Lussac operò con metodo assai più preciso. Si serviva egli di soluzioni composte in modo che la tensione massima del vapore emesso alla stessa temperatura, andasse dall'una all'altra crescendo ed avvicinandosi a quella che, nelle stesse circostanze corrisponderebbe al vapore emesso dall'aqua pura. Le tensioni venivano determinate con un metodo analogo a quello usato da Dalton. Si collocava in seguito l'igrometro sotto campane poggianti su ciascuna delle dissoluzioni così studiate; si conosceva così la tensione del vapore, corrispondente alle indicazioni date dall'igrometro; onde avere lo stato igrometrico, bastava di dividere la tensione del vapore emesso dalla dissoluzione per la tensione massima del vapore d'aqua pura alla stessa temperatura. È per mezzo di questo metodo e completando i risultati per mezzo del processo grafico, già più volte indicato, che si sono ottenuti i numeri della seguente tavola (1).

TAVOLA DI GAY-LUSSAC

Gradi dell'igrometro	Stato igrometrico	Gradi dell'igrometro	Stato igrometrico
0	0, 0	79	0, 6
22	0, 1	85	0, 7
29	0, 2	90	0, 8
53	0, 3	95	0, 9
64	0, 4	100	1, 0
72	0, 5		

Chiaramente si scorge, dall'ispezione della tavola, che le indicazione dell'igrometro sono lontane dall'essere proporzionali allo stato igrometrico; così, per esempio, quando questo è $\frac{1}{2}$, vale a dire, quando l'aria contiene la metà del vapore necessario a saturarla, l'igrometro segna 72.

Nell'aria esterna e pei tempi i più secchi, l'igrometro non scende mai al disotto di 40°, numero che corrisponde ad una frazione di saturazione uguale ad $\frac{1}{4}$. Anche per la pioggia prolungata,

[1] Regnault in uno dei suoi metodi di graduazione dell'istrumento, si fondò sulla tensione dei vapori emessi da miscugli, in diverse proporzioni, di acido solforico ed aqua.

NOTA DEL TRADUTTORE.

l'aria è lontana dall'esser satura e l'igrometro rimane sempre al disotto di 90°.

347. Igrometro a condensazione — Igrometro Leroy. — Gli igrometri a condensazione sono istrumenti nei quali si riduce il vapor aqueo dell'atmosfera a condensarsi sopra un corpo artificialmente raffreddato. Nel principio sono assai più esatti dell'igrometro a capello, giacchè essi permettono di determinare *direttamente* l'elemento richiesto; la forza elastica del vapore sparso nell'aria; hanno però l'inconveniente di esigere una manipolazione. Non sono dunque istrumenti ad osservazione diretta e non si prestano ai metodi di registramento grafico, di cui oggi giorno i metereologisti fanno ampio profitto.

La descrizione dell'igrometro Leroy, fisico francese dello scorso secolo, ci fornisce l'occasione di mostrare il principio teorico di tutti gli apparecchi di questa classe.

Leroy faceva uso di un vaso (fig. 303) di istagno, contenente dell'aqua ed un termometro. Per mezzo di pezzetti di ghiaccio successivamente introdotti nel vaso, egli abbassava la temperatura di questo e, per conseguenza, dello strato d'aria che lo circondava. Siccome la quantità di vapore che satura un certo spazio è tanto più piccola quanto più la temperatura è bassa, si capisce che, col progredire del raffreddamento, arriva un momento in cui l'aria che tocca il vaso deve trovarsi satura. A partire da questo momento, se si continua a raffreddare, una parte del vapore si condensa sulla superfice esterna del vaso.

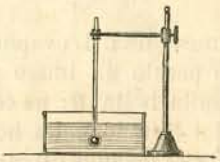


Fig. 303.

Questo fenomeno è reso sensibile dalla formazione di un velo di rugiada, che offusca lo splendore della superfice metallica.

La tensione del vapore che si trova nello strato d'aria vicino al vaso, è dunque la tensione massima corrispondente alla temperatura segnata dal termometro; essa è d'altra parte uguale alla tensione del vapore aqueo sparso nell'aria ambiente, e, per conoscerla, basta consultare le tavole delle forze elastiche del vapore d'aqua. Facendo il quoziente di questa tensione per la tensione massima alla temperatura dell'aria ambiente, si avrà lo stato igrometrico.

È bene di osservare che, al momento in cui ha luogo il deposito di rugiada, il punto di saturazione è già sorpassato e, di conseguenza la temperatura segnata del termometro è un po' troppo bassa; Leroy aggiungeva empiricamente un mezzo grado. L'istrumento è diffettoso anche sotto altri riguardi; l'impiego del ghiaccio non permette di ottenere un raffreddamento pronto e regolare;

è poi poco ragionevole di porre un vaso aperto contenente dell'aqua, appunto nella parte dell'atmosfera di cui si vuol determinare lo strato igrometrico.

348. Igrometro di Daniell. — L'igrometro di Daniell è assai più esatto e di un uso assai comodo. Esso è formato da un tubo ricurvo a due rami paralleli, terminati da bolle, contenenti dell'etere. Una delle bolle *A* (fig. 304) contiene un termometro *t*, e la sua superfice, onde riesca brillante, la si fa, qualche volta in vetro bleu, qualche altra rivestita di uno strato metallico.

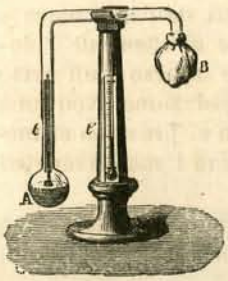


Fig. 304.

Quando si voglia eseguire un'esperienza, si incomincia dal far passare tutto l'etere nella bolla *A*, quindi si versa dell'etere sulla superfice della bolla *B*, rivestita di mussolina. L'evaporazione dell'etere produce un raffreddamento, e perciò ha luogo una parziale condensazione del vapor d'etere nella bolla *B*; ne consegue una nuova evaporazione alla superfice del liquido nella bolla *A* e, di conseguenza, questa si raffredda.

Osservando attentamente la superfice della bolla, si coglie l'istante in cui si deposita il velo di rugiada; si osserva allora il termometro interno. Questa temperatura è un po' più bassa di quella che corrisponde al punto di saturazione.

Abbandonando a sè stesso l'istrumento, si può cogliere il momento in cui la rugiada scompare; la temperatura osservata in questo momento è un po' più alta di quella corrispondente al punto di saturazione, ordinariamente si ritiene la media delle due temperature osservate. È conveniente che il serbatojo del termometro sia collocato negli strati superficiali del liquido, giacchè questi sono la sede dell'evaporazione; di più è utile di avvicinar quanto è possibile il termometro alla parete della bolla. La temperatura esterna è data dal termometro *t'* applicato sul piede dell'apparecchio.

L'igrometro di Daniell, quantunque notevolmente più esatto, lascia ciò non ostante luogo a critica. È difficile di regolare l'andamento del raffreddamento, che, qualche volta, accade assai rapidamente, occasionando, non già un legger velo, ma un' *abbondante* deposito di rugiada. In questo caso l'osservazione è affatto incerta, giacché la temperatura riesce di molto troppo bassa. In secondo luogo, l'operatore, obbligato a versar l'etere, si trova necessariamente vicinissimo all'apparecchio e può quindi modificare lo stato igrometrico dell'aria. Un risultato analogo può esser occasionato dal-

l'evaporazione dell' etere, il quale può essere più o meno aquoso. Questi inconvenienti sono eliminati nell'igrometro di Regnault.

349. Igrometro di Regnault. — L' igrometro di Regnault è formato (fig. 305) da un tubo di vetro, chiuso alla parte inferiore da un ditale d' argento *D*, a pareti assai sottili. L' apertura superiore è chiusa da un tappo, attraverso al quale passa l'asta di un termometro *T* ed un tubo di vetro *t*, aperto ai due capi. L'estremità inferiore di questo tubo ed il serbatojo del termometro, sono immersi nell' etere che riempie il ditale. Lateralmente, la parte superiore dell'apparecchio, comunica con un tubo verticale *U V* in comunicazione con un aspiratore *A*, posto ad una certa distanza. Facendo

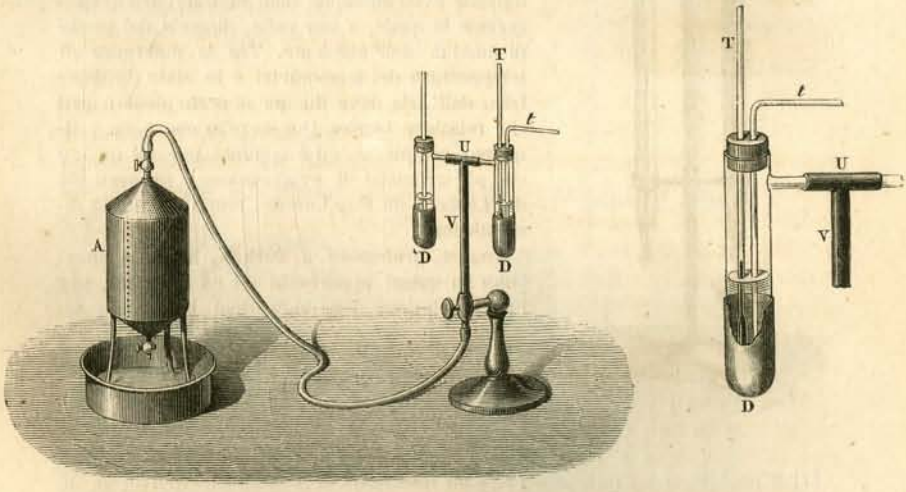


Fig. 305.

effluire l'aqua dall'aspiratore, l'etere è attraversato da una corrente d'aria che lo agita e ripartisce uniformemente la temperatura nelle diverse parti del liquido. Contemporaneamente questo movimento attiva l' evaporazione, ed il freddo producentesi provoca presto il deposito di rugiada, che vien osservato con un cannocchiale. Questa osservazione è agevolata dal confronto coll' aspetto di un secondo ditale, nel quale non circola l'aria e la di cui superfice rimane quindi sempre brillante. In questo secondo ditale si trova il termometro che dà la temperatura esterna. Rallentando l'efflusso, il termometro risale e la rugiada si dissipa; una nuova accelerazione può produrre un nuovo deposito, ed è facile di avvicinare così le due temperature di apparizione e scomparsa della rugiada, in modo da renderle pressochè identiche: in questo caso la media delle due temperature dà con esattezza la temperatura corrispondente al punto di saturazione.

Coll'igrometro di Regnault non è necessario di far uso di etere; l'alcool, assai meno volatile di quello, può bastare. È questo un vero vantaggio, giacchè, l'etere bollendo a 36°, è difficile nella stagione calda, e specialmente in certe località, di conservarlo, anche nelle boccette ben chiuse (1).

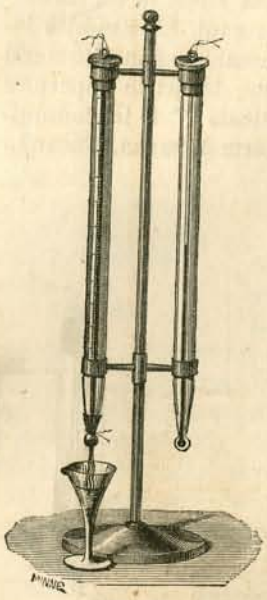


Fig. 306.

350. Psicrometri. — Il psicrometro (fig. 306) è formato da due termometri *gemelli*, posti a fianco l'uno all'altro. Il serbatojo di uno dei termometri è rivestito di mussola costantemente bagnata, così che ne nasce una evaporazione, e quindi un corrispondente abbassamento di temperatura. Questo abbassamento di temperatura dipende evidentemente dall'intensità dell'evaporazione la quale, a sua volta, dipende dal grado di umidità dell'ambiente. Tra la differenza di temperatura dei termometri e lo stato igrometrico dell'aria deve dunque di certo passare qual che relazione teorica. Questa relazione però è alquanto complessa, ed è appunto per tal motivo che gli igrometri di evaporazione, proposti già da Leslie e da Gay-Lussac, erano caduti in dimenticanza.

August, professore a Berlino, ha fatto nuovi studi su questi apparecchi ed ha proposto, per l'interpretazione delle indicazioni, la formola seguente:

$$x = f' - \frac{0{,}429\,(t - t')}{610 - t'} \cdot h$$

[1] Il prof. Belli ha fatto costruire un igrometrc a condensazione, le di cui indicazioni possono aversi, anche per un'intera giornata, senza bisogno di manipolazioni. È esenzialmente formato da una canna di ferro a pareti sottili, di sezione esagonale all'esterno, ben tersa e terminata all'estremo inferiore, il quale è chiuso, da una parte profondamente solcata, allo scopo di aumentarne la superfice. La canna vien disposta verticalmente, e l'estremo chiuso posto in un vaso di rame contenente una certa quantità di ghiaccio misto ad aqua; il vaso di rame è rivestito di sughero, chiuso da coperchi pure di sughero e posto in un vaso di ottone, munito di coperchio, nel quale è praticata un'apertura centrale, destinata a lasciar passare la canna. Questa si riempie di mercurio e riceve poi un termometro, sostenuto da un telajo che afferra la canna stessa, e che può quindi esser fermato in qualunque posizione di essa; lo 0° del termometro è abbastanza alto da permettere le letture anche quando il bulbo si trovi nella parte più bassa della canna; il telajo presenta poi due punte in corrispondenza al piano orizzontale passante pel mezzo della bolla. Ciò posto, accade che la parte inferiore della canna si riveste di rugiada e la parte superiore rimane tersa; di più, le due parti sono separate da un limite netto di demarcazione. Si pone il telajo in tal posizione che le punte, e quindi la bolla del termometro, si trovino nel limite di demarcazione; dopo qualche istante si avrà la temperatura corrispondente alla tensione del vapore contenuto nell'ambiente.

NOTA DEL TRADUTTORE.

dove, x è la forza elastica del vapore sparso nell'aria, t la temperatura del termometro asciutto, t' la temperatura del termometro bagnato, h la pressione esterna, f' la tensione massima del vapore d'aqua alla temperatura t'.

Il psicrometro, in causa della sua semplicità e del facile uso, venne addottato da molti osservatori. Però Regnault ha mostrato, con esperienze, che la formola suesposta non riposa sopra principii incontestabili ed ha stabilito la formola:

$$x = f' - A\,(t - t')\,h,$$

nella quale ciascun osservatore determinerebbe pel proprio istrumento la costante A (1).

351. Igrometro chimico. — La determinazione della quantità di vapore d'aqua sparso nell'aria costituisce un'analisi chimica usuale, che si può effettuare rigorosamente nel modo seguente.

Si fa uso di un aspiratore A (fig. 308) della capacità di una cinquantina di litri, e lo si mette, per la sua parte superiore, in comunicazione coi tubi ad U, 1, 2, 3, 4, 5, 6, contenenti dei pezzetti di pietra pomice imbevuti di acido solforico. Riempito d'aqua l'aspiratore, se ne apre il rubinetto inferiore; il liquido

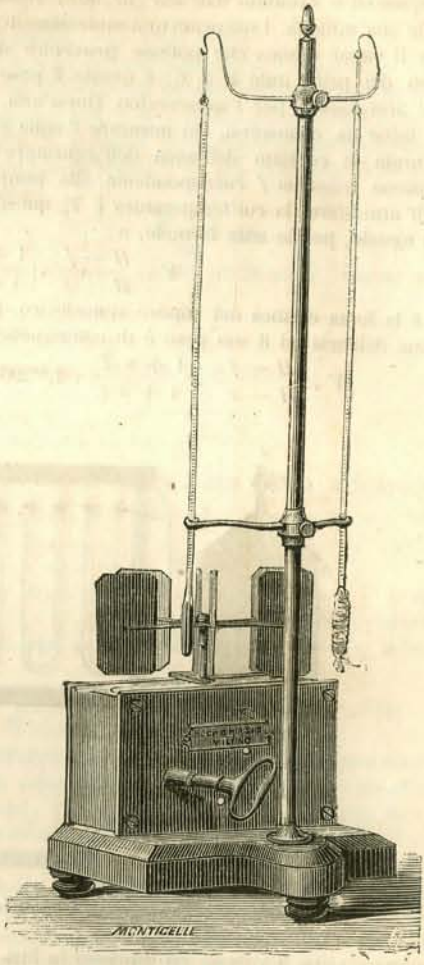


Fig. 307.

[1] Le indicazioni del psicrometro variano, per uguali condizioni di umidità, con molte circostanze, fra le quali molto influente è la ventilazione; fatto questo già avvertito dal prof. Belli e dal prof. Buzzetti. Onde porre, per questo lato, l'apparecchio sempre nelle stesse condizioni, il prof. Cantoni ha fatto disporre fra i due termometri una ruota a larghe pale, che si può mettere in rapida rotazione per mezzo di un meccanismo a molla fig. 307. Questo psicrometro a ventilatore ha dato risultati paragonabili fra di loro, anche per diverse stagioni, e rende grande servigio nelle osservazioni meteorologiche. Regnault fece pure questi istrumenti scopo di studispeciali.

NOTA DEL TRADUTTORE.

effluisce ed è sostituito dall'aria che, attraversando i tubi, si spoglia completamente delle sua umidità. I soli primi tubi aumentano di peso; l'ultimo è destinato ad assorbire il vapor d'aqua che potesse provenire dall'aspiratore. Sia p l'aumento di peso dei primi tubi 4, 5, 6; è questo il peso del vapor d'aqua che si trovava nell'aria passata per l'apparecchio. Quest'aria, nell'aspiratore, occupa un volume V, facile da conoscersi, col misurare l'aqua effluita. Quest'aria si è nuovamente saturata in contatto dell'aqua dell'aspiratore e contiene quindi del vapore alla tensione massima f corrispondente alla temperatura indicata dall'apparecchio. Nell'atmosfera, la cui temperatura è T, quest'aria occupava un volume diverso ed uguale, per le note formole, a:

$$V \cdot \frac{H - f}{H - x} \cdot \frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t};$$

x è la forza elastica del vapore atmosferico. Questo vapore occupa lo stesso volume dell'aria ed il suo peso è di conseguenza:

$$V \cdot \frac{H - f}{H - x} \cdot \frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t} \cdot 1,^{gr}293 \cdot 0,622 \cdot \frac{x}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha T},$$

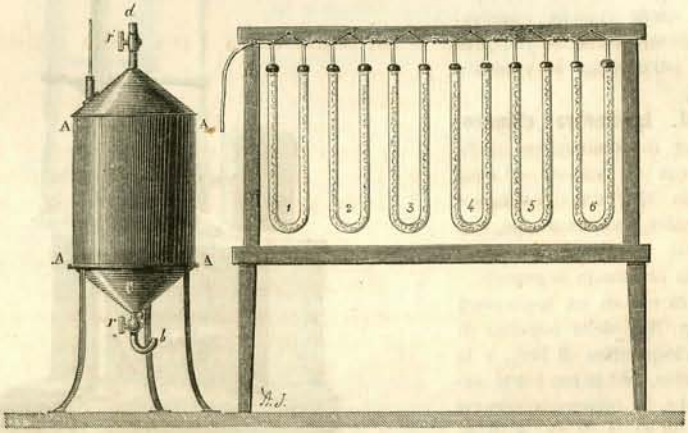


Fig. 308.

ammesso che il volume sia espresso in litri. Se si uguaglia quest'ultima espressione a p, si avrà un'equazione dalla quale si può dedurre il valore di x:

$$x = \frac{p\,(1 + \alpha\, t) \,.\, 760 \,.\, H}{V\,(H - f)\, 0,622 \,.\, 1,293 + p\,(1 + \alpha\, t)\, 760}$$

Dividendo x per la tensione massima F corrispondente alla temperatura dell'aria, si avrà lo stato igrometrico.

Questo metodo ha l'esattezza propria delle analisi chimiche, ma è difficile da eseguirsi e, del resto, non si presta a far conoscere le variazioni, qualche volta tanto rapide, dell'umidità atmosferica; esso fornisce solamente la quantità media di umidità contenuta, durante l'esperienza, in un volume noto di aria. Questo metodo è dunque improprio per le osservazioni metereologiche, per le quali occorre di studiare queste variazioni ad intervalli assai vicini e con processi rapidi. D'altra parte però, la rigorosità del processo chimico permette di impiegarlo come

mezzo di controllo per gli altri processi. Si può, per esempio, farne uso per determinare la costante della formola del psicrometro.

352. Peso di un dato volume d'aria umida. — Le leggi relative ai vapori e le note formole di dilatazione, permettono di risolvere una quistione che si presenta assai spesso, vale a dire, la determinazione del peso di un dato volume d'aria umida. Sia V questo volume, H la pressione dell'aria, f la tensione del vapore d'aqua in essa contenuto e t la sua temperatura. Si possono distinguere in questo volume due parti, un volume V di aria secca alla temperatura t ed alla pressione $H - f$, il di cui peso è, secondo le formole note,

$$V \,.\, 1^{gr},293 \,.\, \frac{1}{1 + \alpha t} \,.\, \frac{H - f}{760} \,;$$

e di un volume V di vapore alla temperatura t ed alla pressione f; questo volume pesa:

$$\frac{5}{8} V \,.\, 1,293 \,.\, \frac{1}{1 + \alpha t} \,.\, \frac{f}{760} \,.$$

Facendo la somma di questi due pesi si avrà il peso P richiesto:

$$P = V \,.\, 1,293 \frac{1}{1 + \alpha t} \,.\, \frac{H - \frac{3}{8} f}{760}$$

353. Relazione tra i volumi di una stessa massa d'aria satura a temperature e pressioni differenti. — Si supponga una massa d'aria in presenza di una quantità di aqua tale, che la sua saturazione sia sempre passibile; sia H la pressione totale dell'aria umida, t la sua temperatura e V il suo volume.

In altre condizioni di temperature e di pressione, t' ed H', il volume V' occupato sarà diverso. Le due quantità V e V' possono considerarsi come volumi di aria secca alle temperature t e t' ed alle pressioni $H - f$ ed $H' - f'$; si può dunque scrivere la relazione:

$$\frac{V}{V'} = \frac{H' - f'}{H - f} \,.\, \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t'} \qquad (1)$$

Nel passaggio da una condizione all'altra, può accadere che, onde la saturazione sia mantenuta, una nuova quantità di vapore debba prodursi; può anche accadere che una parte del vapore si condensi, infine potrebbe anche non aver luogo ne formazione di vapore nè condensazione. Si può proporsi di conoscere a *priori*, dai dati della formola (1), quale di queste circostanze dovrà verificarsi. A tal uopo sieno D e D' i pesi specifici del vapore alle temperature t e t'. Suppongasi, per esempio, $t' > t$ ed immaginiamo che, non cangiando la pressione f, si elevi la temperatura del vapore fino a t', senza che esso sia in contatto col suo liquido; il vapore cesserà di esser saturo; ma allora, se si riduce la pressione ad f', la saturazione avrà luogo nuovamente. In qualunque caso, la massa di vapore sarà rimasta la stessa; e, se si suppone che il vapore abbia lo stesso coefficiente di dilatazione dell'aria, si potrà scrivere:

$$\frac{D}{D'} = \frac{f}{f'} \,.\, \frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t} \,; \qquad (2)$$

moltiplicando membro a membro le equazioni (1) e (2), si ha:

$$\frac{V D}{V' D'} = \frac{H' f - ff'}{H f' - ff'} \,,$$

formola dalla quale si deducono le seguenti conclusioni:

1.° Se $H' f = H f'$ allora $V D = V' D'$, cioè il peso del vapore è lo stesso nelle due fasi dell'esperienza e non accade, di conseguenza, nè condensazione nè evaporazione.

2.° Se $H' f < H f'$ allora $V D > V' D'$, vale a dire che una parte del vapore deve condensarsi.

3.° Se, finalmente, $H' f < H f'$, allora $V D < V' D'$, e quindi dovrà formarsi una nuova quantità di vapore, onde lo spazio si mantenga saturo. In questo caso, non si potrà servirsi della formola (1) che fin quando vi sia un'eccesso di liquido, sufficiente a fornire la necessaria quantità di vapore.

Le formole (1) e (2) si riferiscono al problema il più generale che si possa proporsi sui gas e sui vapori.

354. Temperatura dell'aria. — Tra i diversi fenomeni naturali che si producono alla superficie del globo e che ricevono il nome di *fenomeni meteorologici,* il più importante è il cambiamento di temperatura dell' aria atmosferica. La temperatura indicata da un termometro posto nell'aria, dipende, assai sensibilmente, dalla posizione da esso occupata.

Quando vuolsi, come elemento meteorologico, osservare la temperatura di un luogo, bisogna procurare di mettersi al coperto, per quanto è possibile, da tutto ciò che costituisce un' influenza particolare determinata, così che l'indicazione abbia un carattere locale. Non occorre il dire che un termometro deve essere posto all'ombra; oltre a ciò, esso deve essere esposto al nord, alto sul suolo di circa 2 metri, e lontano da qualsiasi oggetto che possa inviargli, per diffusione, i raggi solari. Può essere utile di porre al disopra ed al disotto del termometro due piatti di legno o di collocarlo in una specie di graticcio che, lasciando circolare liberamente l'aria, protegga l'istrumento dalle esterne irradiazioni. Finalmente è importante di non limitarsi all'osservazione di un solo termometro; anzi è conveniente di installarne diversi a poca distanza gli uni dagli altri. È chiaro che, se l'indicazione ha per causa unica lo stato termometrico dell'aria, i diversi istrumenti dovranno andar d'accordo; se si manifesta qualche disaccordo, questo non può provenire che da qualche causa speciale, che sarà utile di cercare.

355. Temperatura media di un luogo. — Se nel corso della giornata si fa un gran numero di osservazioni termometriche, la media aritmetica di queste temperature fornisce la temperatura media del giorno.

Questa media è tanto più esatta quanto più grande è il numero delle osservazioni; per ottenere la media rigorosa bisognerebbe, per così dire, fare osservazioni a ciascun momento della giornata.

Si sono tentati diversi metodi per dedurre la temperatura media da un piccolo numero di osservazioni. Si ottiene, a quanto pare, un risultato abbastanza soddisfacente, facendo le osservazioni alle 4 ed alle 10 ore di sera, ed alle 4 e 10 ore del mattino, e prendendo il quarto della somma delle temperature osservate. Qualche osservatore preferisce tre osservazioni fatte, alle 6 del mattino, alle 2 ed alle 10 della sera.

Era spontaneo il supporre che la media delle temperature massima e minima di un giorno, avessero a dare la temperatura media del giorno stesso; l'esperienza ha mostrato invece come, operando in simil modo, si ottenga un risultato molto meno approssimato che usando dei metodi precedenti. Comunque sia, oggi giorno, coi termometrografi, il cui uso è reso tanto generale, si ottiene la temperatura media senza alcuna difficoltà e con tutta la precisione desiderabile.

La media delle temperature medie giornaliere di un mese, dà la *temperatura media mensile.*

La media poi delle dodici medie mensili fornisce la *media annua.*

Finalmente, se si prende la media di un certo numero di medie annuali, si ottiene ciò che dicesi *temperatura media di un luogo.* Questa temperatura è tanto più precisa quanto più grande è il numero delle osservazioni annuali da cui deriva. A Parigi, per esempio, per risultato di un mezzo secolo di osservazioni si ha per temperatura media 10°,67.

La temperatura media di un luogo è evidentemente un elemento locale specifico, essa contribuisce a caratterizzare ciò che nel linguaggio ordinario dicesi *clima;* la sua influenza non è però nè la sola, nè, forse, la più importante.

La forza e la direzione dei venti dominanti, lo stato igrometrico dell'aria, il regime e la frequenza delle pioggie, contribuiscono in gran parte ad un insieme di impressioni che si attribuiscono ad un dato clima. Di più, non è inutile di tener conto di certe circostanze, poco note infatti, ma che fanno dire che un clima è *sano o malsano.*

356. Linee isotermiche. — Le linee isotermiche sono quelle linee che si ottengono riunendo con un tratto continuo i punti corrispondenti ai luoghi di ugual temperatura media. Umboldt pel primo, nel 1817, è riuscito, per mezzo di documenti da lui raccolti, a tracciare le linee isotermiche di 5 in 5 gradi, estendendole sopra gran parte della superfice del globo.

Da quell' epoca le osservazioni sonsi moltiplicate ed il tracciato di queste curve può ritenersi abbastanza noto. Dal loro esame risultano osservazioni importanti. In generale esse sono di andamento irregolare, ciò che ha la sua ragione nella moltiplicità degli elementi che influiscono sulla temperatura media; malgrado questa loro irregolarità si è potuto constatare che le linee isotermiche sono inclinate rispetto ai paralleli geografici e che si avvicinano all'equatore in Asia ed in America; ciò mostra che questi due continenti sono più freddi dell' Europa. A misura che si va avvicinandosi al polo boreale, le linee isotermiche, mostrano due inflessioni che vanno di più in più avvicinandosi, così da formare

una specie di ∞. Questa circostanza curiosa, conduce a credere che nelle regioni boreali vi sieno due poli di freddo; l'uno, sarebbe situato, secondo Kaemtz, al nord dello stretto di Barrow in America, l'altro in Siberia all'est del capo Taymour. Ma ciò che v'ha di maggiormente curioso ed importante si è che, nè l'uno nè l'altro, coincidono col polo geografico, il quale trovasi pressochè ad ugual distanza da loro. Il polo geografico non è dunque il punto il più freddo del glo'o terrestre, ed è certo che, nelle regioni artiche, si sono raggiunti dei punti dove la temperatura è più rigorosa di quanto lo sia al polo geografico. È questa una delle ragioni che danno qualche fondamento alla speranza, tanto spesso discussa, di poter raggiungere il polo boreale del globo terrestre (1).

357. Estremi di temperatura. — Indipendentemente dalla temperatura media, egli è evidente che le temperature estreme dei diversi luoghi hanno un' influenza assai importante sul clima. Si noti che l'uomo, per la sua organizzazione, è atto, più di qualunque altro animale, a sopportare temperature assai differenti.

Secondo Kaemtz, Back avrebbe sopportata la temperatura di — 56° al forte Reliance, mentre Barkoot avrebbe provata in Egitto la temperatura di + 47°; si ha dunque una differenza di 104°, superiore quindi a quella che esiste tra il punto di fusione ed il punto di ebollizione dell'aqua.

L'uomo sembra adunque il solo capace di vivere a qualunque latitudine; ciò non pertanto non è meno vero che i climi temperati sono i più propizi al pieno sviluppo delle sue facoltà fisiche ed intellettuali.

358. Climi marini e climi continentali. — Rispetto agli estremi di temperatura, come pure rispetto a quello delle medie estive ed invernali, passano delle grandi differenze nei diversi paesi.

Nelle regioni vicine alle grandi masse d'aqua, le variazioni di temperatura riescono notevolmente ristrette; l'estate vi è meno caldo, l'inverno meno rigido; questo fatto è significante, specialmente nelle isole di poca estensione e si verifica anche lungo le coste. Diconsi *climi marini* quelli pei quali è piccola la differenza tra la media estiva e l'invernale. *Climi continentali* sono invece quelli pei quali tale differenza è più pronunciata, e devonsi attri-

[1] La temperatura annuale media può esser l'istessa per due luoghi, senza che perciò le temperature medie dell'estate e dell'inverno vi sieno necessariamente le stesse. Furono pertanto stabilite le *linee isochimene* e le *linee isotere*; le prime sono quelle passanti pei diversi luoghi che presentano la stessa media invernale, le seconde quelle passanti pei luoghi di ugual media estiva. Queste linee sono di speciale importanza nelle quistioni di geografia zoologica e botanica.

NOTA DEL TRADUTTORE.

buire alla mancanza delle grandi masse d'aqua. Così, per esempio, in Inghilterra il termometro non discende che eccezionalmente a 10° sotto 0; nell'America russa, alla stessa latitudine, il mercurio si mantiene congelato per parecchie settimane.

Ecco qualche esempio di queste due specie di climi:

	Inverno	Estate	Differenze
CLIMI MARINI			
Isole Feroe	4,°90	11°,60	6°,70
Isole Unst	4, 05	11, 92	7, 87
Isole di Man	5, 59	15, 08	9, 49
Helston	6, 19	16, 00	9, 81
CLIMI CONTINENTALI			
Pietroburgo	— 8, 70	15, 96	24, 66
Mosca	— 10, 22	17, 55	27, 77
Kasan	— 13, 66	17, 35	31, 01
Slatoust	— 16, 49	16, 08	32, 57
Irkutzk	— 17, 88	16, 00	33, 88
Jakousk	— 38, 90	17, 20	56, 10

359. Temperatura del suolo a diverse profondità. — Quando si osservi, per mezzo di opportuni strumenti, la temperatura del suolo a diverse profondità, si riconosce che le variazioni, sia diurne che annue, dalla temperatura, si fanno sentire, ma con particolarità curiose. Così, in primo luogo, l'ampiezza di queste variazioni è tanto minore quanto più profondo è lo strato considerato. Ad una certa profondità, variabile da un paese all'altro, questa ampiezza diviene affatto nulla, in altre parole, la temperatura vi è costante; è questo lo strato detto di temperatura invariabile. In questo strato non si riscontrano più traccie di variazioni diurne od annue; ma le prime scompajono più presto delle seconde, ed, infatti, basta penetrare nel suolo ad una profondità mediocre, perchè le ineguaglianze di temperatura della giornata cessino completamente di farsi sentire.

In secondo luogo, le variazioni di temperatura osservate, nell'interno del suolo, sono sempre in ritardo rispetto alle variazioni corrispondenti della superficie; fatto questo che si spiega facilmente colla cattiva conduttività dei materiali che costituiscono la crosta superficiale del globo. Questo ritardo aumenta pressocchè proporzionalmente alla profondità, cosicchè, ad una data profondità, questo ritardo diventa press'a poco di mezzo anno.

In questo strato il massimo di temperatura corrisponde al minimo esterno, e viceversa; le stagioni vi son dunque scambiate. Bisogna però anche dire che esse vi si riscontrano assai poco accentuate ed appena sensibili. Nei nostri climi questo fenomeno di rovesciamento si riscontra ad 8 o 10 metri sotto la superficie del suolo.

Dietro alcune osservazioni, che avrebbero bisogno di verifica, la media annuale sembra avere lo stesso valore in tutti gli strati in cui si fanno sentire le variazioni; da ciò risulta una conseguenza interessante, generalmente ammessa, ed è che la temperatura dello strato invariabile è precisamente la temperatura media del luogo. Questa legge curiosa ha permesso di determinare la temperatura media di diverse località nelle quali non si erano fatte osservazioni termometriche continue.

Le sorgenti che conservano press' a poco la stessa temperatura in tutto l'anno, si ritiene generalmente che posseggano una temperatura uguale alla media del luogo, ma questa conclusione è assai incerta. Le sorgenti, infatti, essendo alimentate dalle pioggie devono esser da queste riscaldate o raffreddate, a seconda delle circostanze.

A Parigi lo strato invariabile si trova ad una ventina di metri sotto la superfice del suolo. Nei sotterranei dell' Osservatorio, la di cui profondità è di $27^m,60$, la temperatura, assolutamente costante, ma un po' superiore alla temperatura media, vi è di $11^o,82$. Il termometro installatovi da Lavossier nel 1783 ha, da quell'epoca, subite variazioni che non arrivano ad $^1/_4$ di grado.

360. Calore centrale del globo. — Al disotto dello strato di temperatura invariabile, la temperatura va aumentando in modo continuo colla profondità. È perciò, per esempio, che le aque dei pozzi di Grenelle, le quali derivano dalla profondità di 548 metri, presentano una temperatura di $27^o,7$; questa temperatura corrisponde all' aumento di 1 grado per ogni 33 metri circa di profondità, a partire dello strato invariabile. Nel supposto che questa progressione si mantenga, a 60 chilometri di profondità si raggiungerebbe una temperatura di circa 2000°. A tale profondità, dunque, tutte le sostanze conosciute sarebbero liquide e si sarebbe quindi condotti ad ammettere che tutta la massa del globo sarebbe allo stato di fusione, salvo una pellicola alla superfice, il cui spessore è appena la centesima parte del raggio della terra.

Questa conclusione è generalmente ammessa dai geologi; ma è più un' ipotesi *a priori* che una conseguenza dell' osservazione. Estendere infatti alla totalità del raggio terrestre, vale a dire a 1500 leghe circa, una legge osservata su un'estensione di 4 a 500 metri, gli è procedere poco logicamente. Invero è il fatto dello schiacciamento della terra quello che ha dato origine alla supposizione della liquidità primitiva del nostro globo, sulla quale venne fondata completamente una teoria, che non può essere accettata che con riserve importanti.

Senza dubbio i vulcani ci danno una prova dell'esistenza nel seno della terra di sostanze allo stato di fusione, ma questi potrebbero

essere fenomeni locali, difficili a spiegarsi senza dubbio, ma meno però del fatto della liquidità del nucleo terrestre.

361. Decrescimento della temperatura coll' altezza. — Man mano che si va elevandosi nell'atmosfera, la temperatura diminuisce per differenti cause.

L' aria, diminuendo di densità, assorbe di conseguenza una minore quantità di calor solare; di più non risente l'azione riscaldante del suolo, azione che alla superfice della terra ha un' importanza considerevole. Sulla cima delle montagne intervengono delle altre cause di raffreddamento, come, per esempio, l' intensità dell' evaporazione, la facilità dell' irradiazione attraverso ad un' atmosfera fatta più rada, ed il movimento dell'aria che, riscaldatasi sul pendio, va dilatandosi e raffreddandosi sulle cime.

Nulla di più facile dunque che lo spiegare il decrescimento di temperatura coll'altezza; si capisce però anche come, questo decrescimento dipendendo da cause diverse, sia difficile lo stabilire una legge esatta che leghi la variazione dell'altezza col decrescimento di temperatura. Le diverse esperienze fatte in proposito sono esse stesse spesso discordanti. Così, per esempio, Gay-Lussac, nel suo celebre viaggio areostatico del 1804, ha trovato all'altezza di circa 7000 metri a cui è giunto, una variazione di temperatura di 40°; circa dunque 1 grado per ogni 173 metri di elevazione. I signori Barral e Bixio, in un' ascensione fatta nel 1849, hanno constatato, ad una altezza presso a poco uguale, una temperatura capace di congelare il mercurio; ciò darebbe, comparativamente alla temperatura della superfice del suolo nel giorno dell' esperienza, una variazione di circa 60°.

Ciononpertanto, siccome la legge di questo decrescimento è assai importante a conoscersi pei calcoli delle rifrazioni astronomiche, si è cercato di trovare un' espressione più o meno approssimata, combinando le osservazioni che presentano il carattere di maggiore importanza, e si è arrivati alla proposizione seguente, la quale però si deve accettare con riserva.

Supponendo che la temperatura del suolo sia di 30°, ad una differenza di pressione di $0^m,050$ corrisponde una variazione di temperatura di 0°,4 (Saigey).

Combinando questa legge colla formula di Laplace per la misura delle altezze, si può calcolare con una certa approssimazione, la temperatura, che domina ad una certa altezza.

È appunto in causa dell'irregolarità nel decrescimento della temperatura coll'elevarsi, che il limite delle nevi perpetue varia d'altezza da una regione all'altra; mentre in Islanda esso arriva appena a 900 metri, nell' Himalaja, nelle Ande, sorpassa i 1500 metri.

362. Venti. — I venti sono prodotti dallo spostamento dell'aria atmosferica, e sono la conseguenza della rottura d'equilibrio nella densità dell'atmosfera. Se, per esempio, in un certo luogo la densità o la pressione dell'aria aumentano, questa si riversa nelle regioni vicine e dà origine ad un vento, che si propaga nel senso stesso della sua direzione: è questo un vento, di *insufflazione*.

Se all'opposto, per una causa qualunque, in seguito, per esempio, alla condensazione di una gran massa di vapore, si produce in qualche luogo una diminuzione di pressione o di densità, l'aria circostante affluisce per ristabilire l'equilibrio. Questo richiamo si comunica di strato in strato, e si produce un vento che si propaga in senso contrario alla propria direzione: è questo un vento d'*aspirazione*.

La direzione del vento, la sua forza o la sua velocità, costituiscono un elemento meteorologico di grandissima importanza e negli osservatori si cerca di misurarlo con molta cura. La direzione si ottiene per mezzo dell'istrumento conosciuto sotto il nome di *banderuola*. È facile di modificare l'apparecchio in modo da obbligarlo a registrare le sue indicazioni, basta, per esempio, come si usa in molti osservatori, di munire la parte inferiore del suo asse di un indice metallico, passante successivamente per diversi contatti elettrici; ciascuno di questi contatti corrisponde un organo registratore messo in movimento dalla corrente, il quale lascia una traccia sopra un foglio di carta tenuto in movimento per mezzo di un meccanismo di orologeria.

La forza o la velocità del vento si misura per mezzo degli *anemometri;* sono questi mulinelli ad ali il di cui asse ingrana, per mezzo di una vite senza fine, colla prima ruota di un contatore a ruote. Mantenendo in azione lo strumento per un tempo determinato, si può conoscere il numero di giri compiuti dal mulinello nel tempo stesso; la velocità del vento si deduce da questo numero di giri per mezzo di tavole speciali, costruite direttamente, le quali costituiscono la graduazione dell'anemometro.

I venti, secondo la loro velocità, ricevono nomi speciali. Quando questa velocità è al disotto di 10 metri al secondo, si dicono *venticello, brezza*. Al di là di 20 metri di velocità il vento diventa pericoloso in mare. La velocità del vento può raggiungere 40 o 50 metri al secondo; ed allora è capace di rovesciare gli edifici, sradicare gli alberi e costituisce un uragano od una tempesta.

363. Cause dei venti. — Gli è quasi impossibile il dare una teoria generale dei movimenti dell'atmosfera; in quanto poi alle influenze locali che ne modificano la direzione o l'intensità, esse sono così varie che il loro studio riesce assai complesso e non può trovar posto che in un trattato speciale. Noi ci accontenteremo di indi-

carne una circostanza fisica fondamentale, la quale permette di rendersi ragione, almeno approssimativamente, dell'origine dei venti detti regolari. Questa circostanza si riassume con evidenza nella seguente esperienza di Franklin: Si apra, in inverno, una porta di comunicazione tra una camera calda ed una camera fredda e si pongano due candele accese, una in alto, l'altra al basso della porta. Si osserva che la fiamma della candela inferiore si inclina verso la camera calda, mentre che quella della candela superiore si inclina in senso opposto. Generalizzando la conclusione di questa esperienza si può dire che: *Quando due regioni vicine sono diversamente calde, si stabilisce, alla parte superiore un vento che va dalla regione calda alla fredda, ed un vento di direzione opposta alla parte inferiore.*

Ecco l'applicazione di questa proposizione assai semplice, alla spiegazione delle brezze, dei venti aliséi e di Monsoni.

364. Brezze. — Sulle coste, quando il tempo è calmo, si osserva, a partire delle nove o dieci ore del mattino, un vento proveniente dal mare, la di cui forza va aumentando fin verso le due o tre ore. Da questo momento esso si indebolisce e cessa poi poco prima del cader del sole, per dar luogo, dopo qualche ora, ad un vento che soffia pressochè fino al levar del sole. Questi venti, conosciuti col nome di brezza di terra e brezza di mare, si producono con una grande regolarità; ma possono anche esser mascherati da venti soffianti contemporaneamente. L' origine di queste brezze è assai semplice: durante il giorno la terra si scalda più del mare, in causa dell'elevato calor specifico dell' aqua; deve dunque nascere alla superfice del suolo un vento diretto verso la regione calda, vale a dire verso terra. Durante la notte, la terra ed il mare si raffreddano, ma la prima più della seconda; il vento alla superfice del suolo deve ancora essere diretto verso la regione calda, vale a dire verso il mare.

365. Venti aliséi. — I venti aliséi si osservano più specialmente nell'Atlantico e, nel nostro emisfero, soffiano dal nor-est al sud-ovest; nell'emisfero australe soffiano dal sud-est al nord-ovest. I venti aliséi si producono con una assoluta regolarità; i marinai possono contare su di essi colla stessa certezza che sul levar del sole; questi venti non si estendono, del resto, che poco al di là della regione intertropicale, e non è che casualmente che si facciano sentire fino al trentesimo grado di latitudine.

Ecco la spiegazione che l'esperienza di Franklin suggerisce in proposito degli aliséi; essa è pressochè conforme a quella data primitivamente da Halley. La regione equatoriale essendo più fortemente scaldata dal sole delle altre parti della terra, sopra di essa si produce una dilatazione e, di conseguenza, un moto ascen-

zionale dell'aria. In causa della aspirazione che ne deriva, l'aria affluisce dall'uno e dall'altro emisfero verso l'equatore. Se la terra fosse immobile, ne deriverebbe un vento proveniente, dal nord nell'emisfero boreale, e dal sud nell'emisfero australe; ma la terra gira, e con una velocità assoluta che va diminuendo coll'allontanarsi dell'equatore. Supponiamo, dietro ciò, una massa d'aria trasportata *ad un tratto* verso l'equatore, a piccola distanza da questo; la sua velocità essendo minore di quella della velocità della regione in cui venne portata, essa costituirà come una specie di ostacolo in riposo relativo rispetto alla terra, e, siccome questa gira dall'est all'ovest, produrrà l'effetto di un vento d'est.

Se si suppone, ciò posto, che la massa d'aria, invece di essere trasportata ad un tratto verso l'equatore, vi arrivi gradatamente, la direzione del vento prodotto da essa riescirà intermedia tra l'est ed il nord, vale a dire, essa avrà la direzione nord-est. Lo stesso ragionamento mostra come nell'emisfero australe l'aliséo soffierà da sud-est.

Verso l'equatore si ha l'incontro dei due aliséi: è la regione detta delle *calme*, espressione la quale indica solamente che non vi regnano venti di direzione regolare e non già che non vi sieno venti; anzi è appunto in questi paraggi che si producono più facilmente delle burrasche o delle tempeste più o meno violenti.

A l'aliséo inferiore corrisponde il contraliséo superiore, derivante dall'acorrere verso i poli dell'aria scaldata. Questo contraliséo si abbassa gradualmente verso terra e la raggiunge, verso il quarantesimo od il cinquantesimo grado di latitudine; esso costituisce un vento di sud-ovest, che è infatti il vento dominante nel nord dell'Europa.

Questi movimenti dell'atmosfera hanno una grande influenza sui movimenti del mare. Gliè, per esempio, sotto questa azione che la celebre corrente conosciuta col nome *gulf-stream*, prima di entrare nel golfo del Messico, dove essa più particolarmente riceve quel nome, si dirige verso l'equatore, pressochè parallelamente alla grande corrente atmosferica corrispondente.

366. Monsoni. — Sono venti che dominano specialmente nel mare delle Indie e che sono subordinati ai movimenti del sole. Durante l'estate, il sole trovandosi sopra l'equatore, i piani del Thibet e dell'Himalaya si riscaldano notevolmente, mentre producesi un raffreddamento dal lato della Nuova Olanda e dell'Africa meridionale; ne derivano diverse brezze, la di cui risultante è un vento di sud-ovest, dominante infatti dall'aprile all'ottobre. Nell'altra metà dell'anno spira l'aliséo del nord-est, portante il nome di Monsone del nord-est.

367. Meteore aquee. — Si dà il nome di meteore aquee ai diversi

fenomeni meteorologici risultanti dalla condensazione più o meno completa del vapor d'aqua contenuto nell'aria: tali sono la pioggia, la rugiada, la nebbia ecc.

Questa condensazione del vapore può prodursi in due circostanze assai differenti. Qualche volta essa è dovuta alla presenza di un corpo freddo, il quale riduce allo stato di saturazione lo strato d'aria che gli è in contatto e provoca, per tal modo, la liquefazione di una parte del vapore. A questo deposito d'aqua sul corpo freddo si dà il nome di rugiada; si terrà in seguito parola di questo fenomeno. Basti per ora il far osservare che la sua natura fisica esenziale, consiste nel deposito del vapore atmosferico *sul corpo stesso* che produce il raffreddamento. Quando invece il vapore si condensa in seno all'aria, l'aqua derivante da questa condensazione, obbedendo alla gravità, *cade* sulla terra; ecco in cosa consiste la pioggia.

368. Nubi e nebbia. — Quando la condensazione ha luogo nell'atmosfera essa, ordinariamente, non è dapprincipio completa e si costituisce un corpo di natura speciale, che ha ricevuto il nome di nube o nebbia, a seconda che si manifesta ad una certa altezza nell'aria, oppure alla superfice del suolo.

Si dà al vapore semicondensato, che costituisce la nebbia o la nube, il nome di vapore allo stato *vescicolare*. È appunto vapore allo stato vescicolare quello che si forma al disopra di un vaso contenente dell'aqua che si va scaldando; il vapore producentesi alla temperatura del liquido possiede naturalmente la tensione propria a questa temperatura e, trovandosi ad un tratto nell'aria, assai più fredda, si condensa. È pure vapore allo stato vescicolare quello che sfugge dal camino di una locomotiva ed, in generale, dalle aperture di un generatore di vapore, specialmente quando questo è ad alta pressione. Nel linguaggio ordinario si dà spesso a questo corpo il nome di vapore, ma tal denominazione è impropria, il vapore essendo trasparente è quindi invisibile, sotto piccolo spessore, quanto lo è l'aria.

I fisici non sono d'accordo sulla costituzione delle particelle delle nubi, e la causa di questo disaccordo dipende dalla necessità di spiegare come questi corpi possano rimaner sospesi nell'atmosfera. Si è creduto di risolvere la difficoltà coll'ammettere che le nubi sono formate di globuli vuoti, ma l'equilibrio di tali globuli non è di più facile concezione di quello di globuli pieni. D'altra parte non si capisce in virtù di qual forza questi globuli possonsi mantenere cavi; l'aria chiusa in essi deve trovarsi alla stessa pressione dell'aria esterna, ed allora l'attrazione mutua delle particelle liquide tenderebbe naturalmente ad espellere quest'aria, che si scioglierebbe gradatamente nella pellicola liquida.

Contro la teoria che ammette che le nubi sono formati di globuli pieni, si è obbiettato che su di essi dovrebbe prodursi l'arcobaleno; ma questa obbiezione è priva di fondamento; infatti, quando i globuli presentano una grande tenuità, danno luogo ad una diffusione luminosa che osta alle condizioni speciali di riflessione alle quali è precisamente dovuto l'arcobaleno.

È in causa di questa tenuità che le particelle delle nubi si sostengono nell'aria, senza bisogno, per spiegare il fenomeno, di ricorrere ad una teoria speciale; analogamente, quando si rischiara l'aria di una camera oscura per mezzo di un raggio di sole, si scorge una quantità di corpuscoli di natura e peso specifico diversi, nuotare nell'aria stessa. È vero che questi corpuscoli non si trovano mai in riposo; ma lo stesso accade delle particelle delle nubi. Coloro che ebbero occasione, viaggiando sulle montagne, di trovarsi nel seno alla nebbia, poterono constatare la grande mobilità delle sue particelle costitutive, le quali cedono al menomo soffio di vento e ne sono trascinate come finissima polvere. Qualche volta sembra che le nubi presentino una certa qual fissità nella loro posizione e nella loro forma. Questa non è che un'illusione dovuta alla grande distanza dalla quale si osservano. Se, anche in questi casi, si osserva con sostenuta attenzione il contorno di una nube, lo si vede alterarsi in modo continuo ed abbastanza rapido. Ciò è affatto naturale. Quando pure l'aria fosse assolutamente calma, ciò che è difficile ad ammettersi, le goccioline devono cadere in causa della gravità: arrivando alle parti inferiori, dove la temperatura è più alta e lo stato igrometrico minore, esse si riducono in vapore, si innalzano e si condensano nuovamente alle parti superiori. Per l'osservatore esiste dunque una specie di immobilità generale dell'assieme, ma le parti costitutive sono in continuo movimento; si ha una specie di equilibrio mobile.

Fig. 303.

369. Forma delle nubi. — Nulla di più capriccioso e di più variabile della forma delle nubi. Ciò non pertanto i meteorologisti hanno convenuto di usare di certe espressioni per accennare a qualcune delle forme che possonsi prendere per tipo:

1.° I *cirri*, o code di gatto, dei marinai, sono costituiti da nubi bian-

che in forma di filamenti allungati e mollemente sovrapposti. (fig. 309). Quando sono in piccolo numero su di un cielo chiaro, vengono generalmente considerati come un pronostico di bel tempo.

2.° I *cumuli* si presentano sotto forma di pezzi arrotondati e separati gli uni dagli altri (fig. 310). Quando i cumuli occupano una gran parte del cielo, si dice che questo è *pommellato*. I cumuli si osservano specialmente in estate; qualche volta essi si accumulano gli uni sugli altri e formano così quelle grosse nubi all'orizzonte, che si scambierebbero per montagne coperte di neve.

Fig. 310.

3.° Gli *strati* sono formati da lunghe striscie, generalmente diritte e sovrapposte (fig. 311) a mo' degli strati di un terreno; spesso gli strati si formano al cadere del sole e scompaiono al suo sorgere.

Fig. 311.

4.° I *nembi* sono quelle nubi che si risolvono in pioggia; è solamente su di essi che si produce l'arcobaleno. Visti di lontano, appajono sotto forma di masse più o meno oscure, sulle quali staccano linee parallele verticali o leggermente inclinate (fig. 312).

Fig. 312.

A queste forme, per così dire, semplici, i meteorologisti aggiungono delle forme composte, sulle

quali però è spesso difficile l'accordarsi; tali sono i *cirri-cumuli*, i *cirro-strati* ecc. Parole queste che non abbisognano di spiegazione.

370. Cause della formazione delle nubi o della nebbia. — Le nubi non essendo altro che vapore condensato, la loro formazione è subordinata alle cause che producono la liquefazione del vapore.

Questa liquefazione deriva sempre dall'eccesso di vapore, rispetto alla quantità necessaria a produrre la saturazione in un certo momento.

Ciò accade, per esempio, dei vapori che si formano alla superfice del suolo e si elevano poi nell'atmosfera; in causa del decrescimento di temperatura coll'altezza, può accadere che incontrino uno strato di tale temperatura da rimaner saturato da quei vapori. È noto d'altra parte che il decrescimento di temperatura coll'elevazione è assai variabile e dipendente da una quantità di circostanze che ne possono cambiare l'intensità più volte in un sol giorno; così, si vede spesso un cielo nuvoloso rischiararsi, per così dire, istantaneamente, ed altre volte invece formarsi le nubi simultaneamente su diversi punti con una grande rapidità; questi due fenomeni si producono talvolta in modo alternativo e frequente. Si capisce facilmente che, se il decrescimento di temperatura fosse assai lento, le condizioni di condensazione del vapore non si incontrerebbero mai; come pure, se il decrescimento fosse sottoposto ad una legge costante ed abbastanza rapida, le condizioni stesse si troverebbero sempre realizzate, in modo invariabile, ad una certa altezza. Il cielo sarebbe sempre sereno nel primo caso, sempre coperto nel secondo. Queste variazioni in un fatto fondamentale, che, a primo aspetto, si presenta come una irregolarità fortuita, ha dunque per effetto di provocare nello stato del cielo delle variazioni corrispondenti ed assai proprie, almeno nella maggior parte dei casi, allo sviluppo normale dei fenomeni di vegetazione.

La quantità di vapore saturante diminuendo rapidamente colla temperatura, si capisce come i venti caldi, e specialmente, quelli che passano al sopra grandi masse d'aqua, devono produrre ordinariamente le nubi; è ciò che ha luogo, in particolare, a Parigi pei venti d'ovest e del sud; accade l'opposto pei venti del nord e dell'est, i quali sono generalmente secchi. Per lo stesso motivo, la simultaneità di due venti a temperatura diverse deve spesso produrre la condensazione del vapore. Infatto, nelle masse d'aria mescolate, tende, ad una volta, a stabilirsi pel vapore, una temperatura ed una pressione media; ma siccome la tensione massima del vapore cresce più rapidamente della temperatura, così la tensione media tendente a stabilirsi, può sorpassare (e la sorpassa di certo se le due masse sono sature) la tensione massima propria alla

temperatura del miscuglio; ne consegue necessariamente una precipitazione di vapore, allo stato liquido. Alla superfice del suolo si osservano spesso delle nebbie alla mattina ed alla sera; alla sera si distendono dappertutto; alla mattina, specialmente sopra i laghi ed i fiumi.

Le nebbie della sera son dovute semplicemente al rapido raffreddarsi dell'aria dopo il tramonto. Al mattino devonsi attribuire ad un'altra causa: l'aqua, in causa dell'elevato suo calor specifico, si raffredda assai meno dell'aria ambiente; ne consegue che il vapore sviluppantesi al mattino dalle masse liquide, si trova in un mezzo d'aria più fredda e vi si condensa in parte. Ne risulta quindi una nebbia, assai limitata del resto, che il calore del sol nascente non tarda a dissipare.

A chiunque son note quelle nebbie dense, intense, spesse odoranti, le quali, invece di far muovere l'indice dell'igrometro verso l'umidità, producono un fenomeno inverso; queste nebbie sono frequenti in certi paesi, in Olanda, per esempio, e son dovute a cause affatto sconosciute.

371. Pioggie. — Dietro quanto si è ammesso sulla costituzione delle nubi, bisogna ammettere anche che esse devono dare continuamente della pioggia, giacchè le goccioline che le formano tendono continuamente ad obbedire all'azione della gravità. Ciò non ostante, finchè le goccioline sono assai piccole, si evaporano nella loro caduta e non arrivano fino al suolo; non è che allorquando le gocciole hanno raggiunto un certo volume che può aver luogo la vera pioggia.

Si valuta la quantità di pioggia che cade annualmente in un dato luogo, supponendola regolarmente distribuita sul suolo, e stimando lo spessore, che vi assumerebbe. Si fa, a tal intento, uso di apparecchi, detti pluviometri od udometri. Sono questi formati da un imbuto *B* (fig. 313), che riceve l'aqua e la conduce in un serbatojo *A*. Ogni giorno la si raccoglie, per mezzo del robinetto *r*, e si calcola, dal suo peso, l'altezza che essa presenterebbe se avesse la forma di un cilindro di base uguale alla bocca dell'imbuto.

Fig. 313.

Nei meteoreografi, si fa spesso uso della seguente disposizione: la pioggia ricevuta dall'imbuto è condotta, per mezzo di un tubo, sopra una ruota a cassette, nella quale produce il movimento di rotazione; questo movimento si trasmette ad un tamburro, sopra una delle faccie del quale, un organo scrivente traccia periodicamente una linea; la distanza angolare dei tratti così ottenuti, for-

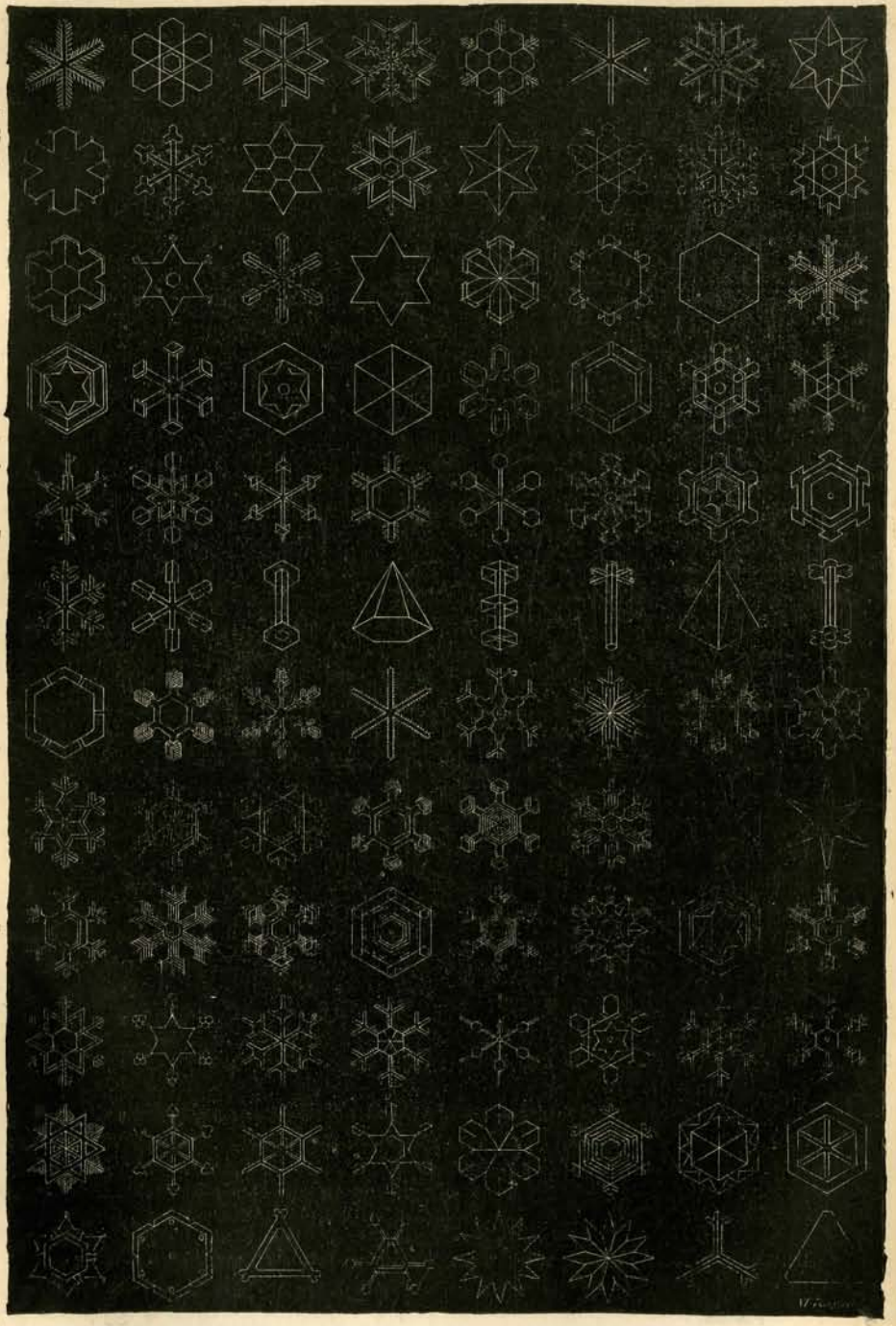


Fig. 314.

nisce la quantità di pioggia caduta nel corrispondente intervallo di tempo.

372. Neve — Grandine — Ghiacciuolo. — La neve è probabilmente dovuta al passaggio diretto del vapore allo stato solido. Ne risulta una specie di cristallizzazione per sublimazione; osservando alla lente gli elementi dei fiocchi di neve, vi si riscontra sempre una forma simmetrica, riferentesi al sistema esagonale, al quale il ghiaccio appartiene. La figura 314 rappresenta le diverse forme di fiocchi di neve, osservati dal capitano Scoresby, durante un lungo soggiorno nelle regioni polari.

Nelle regioni polari l'atmosfera è spesso sparsa di piccoli aghi di ghiaccio, aventi la forma di prismi triangolari, i quali danno luogo ai fenomeni detti halos e pareli.

Il ghiacciuolo è una specie di neve dura, formata di fiocchi arrotondati, di piccole dimensioni. Se ne spiega la formazione ammettendo che la neve, formatasi dapprima, provi un cominciamento di fusione, seguito da un'ulteriore congelazione.

In quanto alla grandine, essa è originariamente dovuta alla congelazione di piccole gocciole di pioggia, attraversanti strati dell'atmosfera la di cui temperatura è inferiore a 0°; il soggiorno di questi piccoli nuclei di ghiaccio nell'atmosfera, dove si aumentano al punto da formare delle grandini assai voluminose, si riferisce, vuoi a fenomeni elettrici, vuoi ai movimenti dell'aria prodotti dai cicloni (1).

373. Nevischio. — È uno strato assai assai sottile e scivolante di ghiaccio, formantesi alla superfice del suolo in due differenti circostanze: 1.° quando, dopo parecchi giorni di freddo intenso, cade una pioggia minuta, che si congela immediatamente in contatto col suolo; 2.° quando un sottile strato di neve o di ghiacciuolo, avendo subito un principio di fusione, gela di nuovo.

CAPITOLO VIII.

CONDUTTIVITÀ.

374. Conduttività. — Se si sottopone all'azione del calore l'estremità di un'asta metallica, le differenti parti di questa si scaldano pro-

(1) Secondo l'opinione del P. Secchi, appoggiata da osservazioni fatte in proposito, la grandine starebbe sospesa in causa di vortici formantisi nell'aria, in particolari circostanze. Il freddo necessario alla congelazione deriverebbe dall'aria gelata, chiamata dalle alte regioni dell'atmosfera dal vortice stesso. Questi vortici possono esser verticali, ma più spesso si presentano col loro asse disposto orizzontalmente. NOTA DEL TRADUTTORE.

gressivamente; si dà il nome di *conduttività* a questa proprietà dei corpi di trasmettere il calore di strato in istrato. In fatto, l'essenza della conduttività è *l'irradazione*: le molecole scaldate irradiano calore alle vicine, queste agiscono allo stesso modo sulle seguenti, e così via. Giunge un momento in cui ciascuna riceve una quantità di calore uguale a quella che perde nello stesso tempo, sia per irradiamento verso le molecole vicine, sia per l'irradiamento verso l'esterno, sia per comunicazione agli strati che circondano il corpo. Quest'ultimo effetto costituisce ciò che dicesi conduttività esterna; questa differisce dalla conduttività propriamente detta per ciò che la propagazione accade fra molecole di specie diversa.

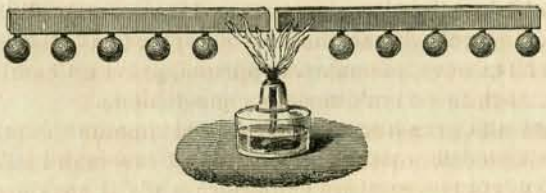


Fig. 315.

375. Differenze di conduttività. — I corpi solidi presentano notevoli differenze sotto il riguardo della conduttività; si può porre in evidenza questo fatto per mezzo di diverse esperienze.

Se, per esempio, si pongono testa a testa due sbarre (fig. 315) sulle quali, per mezzo di cera, si son fissate delle sferette di legno, e si scaldano gli estremi di giunzione, man mano che il calore si propaga, la cera fonde progressivamente e le sferette si staccano. La sbarra che conduce meglio il calore dà, in un certo tempo, un maggior numero di sferette staccatisi, giacchè la temperatura di fusione della cera vi si propaga più lontano.

L'apparecchio di Ingenhouz (fig. 316) permette di comparare comodamente la condutività dei diversi corpi solidi. Esso è formato da una cassetta di rame, sopra una delle faccie della quale sono impiantate delle asticine di sostanze differenti, passanti attraverso ad apposite aperture. Le asticine vengono dapprima immerse nella cera fusa, così che ne rimangono rivestite di un leggiero strato; si versa poi dell'aqua bollente nella cassa. Le estremità delle aste son così portate a 100° ed il calore si propaga gradualmente nel loro interno. Si vede infatti fondersi la cera, e questo fenomeno si produce sopra una lunghezza tanto maggiore quanto più grande è la conduttività della sostanza.

Si riconosce per tal modo che i diversi metalli presentano disu-

guale conduttività e che, in ordine decrescente a questa, vanno disposti nel seguente ordine: *argento, rame, oro, ottone, stagno, ferro, piombo, platino, bismuto.*

È importante di notare che il grado di conduttività è dato dall'intensità del riscaldamento e non dalla sua rapidità. Questo ultimo effetto dipende dal calor specifico della sostanza, vale a dire dalla quantità di calore necessario ad elevarla ad una certa temperatura. Si capisce che, quanto più il calor specifico è debole, più rapidamente fonderà la cera; è questo però un fenomeno che non dà alcun indizio sulla conduttività.

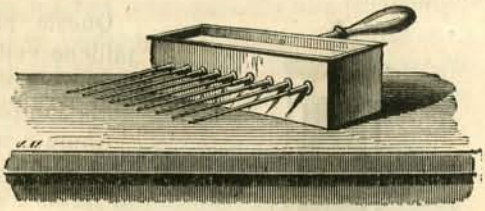


Fig. 316.

376. Conduttività dei metalli. — Sebbene i metalli presentino una diversa conduttività, pure essi son tutti di una conduttività superiore a quelle delle altre sostanze, quali il legno, il marmo, i mattoni ecc. Questa proprietà spiega molti fatti assai noti. Se, per esempio, si applica la mano su di una lamina di metallo, se la si immerge in un bagno di mercurio ad una decina di gradi, si prova una sensazione di freddo assai distinta; questa sensazione è minore col marmo, minore ancora col legno. Ecco la spiegazione di tal fatto: al contatto colla mano, la quale si trova ad una temperatura più alta di quella del corpo toccato, vi ha calore ceduto per via di conducibilità, e, per conseguenza, più grande è questa conducibilità, più l'impressione di freddo deve esser sentita.

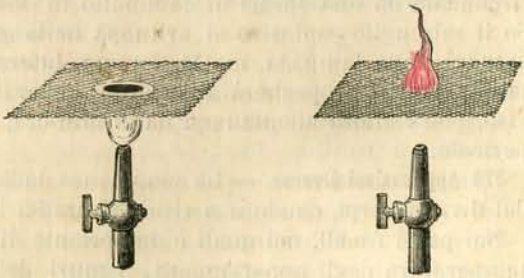


Fig. 317.

377. Lampada dei minatori. — Si deve alla conduttività dei metalli la curiosa proprieta delle tele metalliche di troncare le fiamme.

Se al disopra della fiamma di un becco a gas, per esempio, si pone una tela metallica, la fiamma rimane troncata. Se si fa giungere il gas sulla tela e lo si accende solamente al disopra di essa, la fiamma non si propaga al disotto (fig. 317). Questi fatti dipen-

dono dalla conduttività della tela metallica, per la quale il calore della fiamma si dissipa rapidamente nei punti toccati; ne consegue un abbassamento di temperatura tale, da rendere impossibile la combustione.

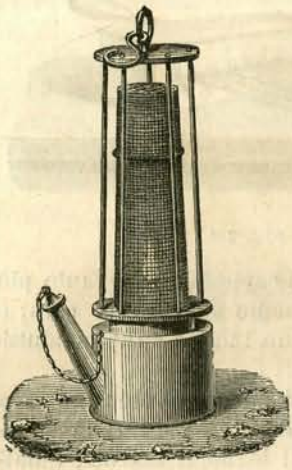


Fig. 318.

Questa proprietà delle tele metalliche venne spesso utilizzata; ma l'applicazione la più felice la si vede nella lampada di Davy.

Come è noto, nelle miniere di carbon fossile si sviluppa spesso un gas, al quale i minatori danno il nome di *grisou*; questo gas è una combinazione di carbonio e di idrogeno, ed è uno di quelli che entrano in grande proporzione nel gas dell'illuminazione.

Il miscuglio di grisou con otto o dieci volte il suo volume d'aria, è capace di detonare con grande violenza in contatto di un corpo infiammato. Queste esplosioni, ancora abbastanza frequenti oggi giorno, lo erano ad un tal punto al principio del nostro secolo, che i proprietari di miniere non trovavano più operai che vi volessero lavorare. È in questo frangente che Davy, al quale fecero ricorso, immaginò la lampada di sicurezza. È dessa una lampada ordinaria, circondata da una specie di caminetto in tela metallica (fig. 318). Se il miscuglio esplosivo si sviluppa nella galleria, l'esplosione accadrà nella lampada, ma la fiamma, intercettata dalla tela metallica, non si propagherà all'esterno; l'operaio, posto così sull'avviso, potrà allora allontanarsi dalla miniera, senza correre alcun pericolo.

378. Applicazioni diverse. — La conoscenza della conduttività relativa dei diversi corpi, conduce a risultati pratici importanti.

Nei paesi freddi, nei quali è importante di poter conservare la temperatura degli appartamenti, i muri delle abitazioni devono esser costruiti con materiali cattivi conduttori (legno o mattoni): Se si fanno in pietra, migliore conduttrice del calore, si deve dare ai muri uno spessore maggiore. I muri grossi son pure utili nei paesi caldi per preservarsi dagli ardori del sole.

I caloriferi in metallo scaldano assai intensamente, ma si raffreddano pure assai presto appena spenti. I caloriferi o stufe in muratura, in causa della loro cattiva conduttività, si raffreddano lentamente e forniscono una temperatura dolce, uniforme e duratura; per tal motivo se ne fa un uso esclusivo nei paesi assai freddi.

Si utilizza la cattiva conduttività della muratura nella costruzione delle ghiacciaje. Son queste, fosse circolari, generalmente di 6 ad 8 metri di diametro alla loro bocca, che vanno ristringendosi collo sprofondarsi (fig. 319); al fondo si trova uno smaltitoio chiuso da una griglia. Il rivestimento interno è in mattoni; alla parte superiore il ghiaccio è coperto di paglia, corpo cattivo conduttore. I movimenti dell'aria sono assai dannosi per una ghiacciaja, giacchè provocano la fusione del ghiaccio: Si impediscono inaffiando d'aqua i pezzi di ghiaccio, al momento in cui vi si chiudono; l'aqua si congela, salda tutti i pezzi, i quali vengono a formare un solo blocco assai difficile da fondersi.

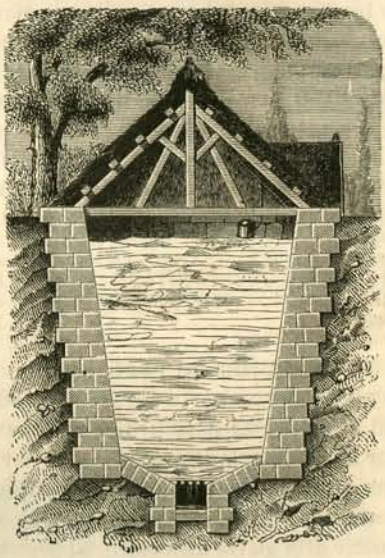


Fig. 319.

379. Misura della conduttività. — L'apparecchio di Ingenhouz fornisce un mezzo molto semplice per dimostrare le differenze di conduttività, ma non conduce ad un'espressione numerica che possa servire di misura del potere conduttore. Per intendere il processo col quale si è potuto ottenere questa misura, bisogna dapprima formarsi un'idea di ciò che si definisce *potere conduttore* o coefficiente di conduttività di una sostanza. Si immagini un muro solido *indefinito*, e si supponga che le sue due faccie sieno mantenute a temperature costanti. Dopo un tempo più o meno lungo, si stabilirà naturalmente uno stato di equilibrio ed allora è evidente che, ad ogni istante, passerà la stessa quantità di calore da qualunque strato considerato nel solido. Si dimostra nella teoria matematica del calore, che questa quantità di calore è proporzionale alla differenza di temperatura delle due faccie, inversamente proporzionale allo spessore e proporzionale ad una certa costante specifica, variabile e da una sostanza ad un'altra. È questa costante che prende la designazione di *potere conduttore* o di *coefficiente di conduttività interna* (1).

[1] Volendo, dietro ciò, calcolare la quantità Q di calore che attraversa, nell'unità di tempo, una porzione d'area a di un muro [mezzo a faccie parallele],

Ciò posto, si immagini di prendere un'asta metallica, di scaldarne una delle estremità e di osservare, quando l'equilibrio siasi stabilito, le temperature presentate da strati equidistanti fra loro. Questa osservazione si può effettuare, come faceva Despretz, praticando nella sbarra delle piccole cavità, che si riempiono poi di mercurio, nelle quali si immergono i serbatoi di piccoli termometri Meglio ancora, si può far uso di pinzette termoelettriche, le quali permettono di esplorare la temperatura di un punto qualunque della sbarra; così fecero i signori Wiedemann e Franz. In ogni modo, se la sbarra è abbastanza lunga perchè non vi sia un effetto calorifero sensibile all'estremità opposta a quella che vien scaldata, si constata che gli eccessi delle temperature di punti successivi, equidistanti fra loro, sulla temperatura ambiente, costituiscono una progressione geometrica decrescente. Questo fatto può esser considerato come la legge fisica del fenomeno.

La tavola seguente contiene i risultati delle esperienze di Wiedemann e Franz il potere conduttore dell'argento vi è preso come 100.

Argento	100	Acciajo	12
Rame	77,6	Ferro	11,9
Oro	55,2	Piombo	8,5
Ottone	55	Platino	8,2
Zinco	19,9	Palladio	6,5
Stagno	14,5	Bismuto	1,9

380. Conduttività dei liquidi. — I liquidi, fatta eccezione del mercurio, il quale si comporta come un metallo, sono cattivissimi conduttori del calore. Per assicurarsene basta scaldare una colonna liquida per la sua parte superiore, ed osservare le variazioni di temperatura che si stabiliscono al dissotto: queste variazioni si producono assai lentamente e sono d'altronde poco sensibili. Se si scaldasse il liquido alla parte inferiore, si produrrebbe il fenomeno già descritto sotto il nome di *moti covettivi*; gli strati inferiori, dilatandosi, si eleverebbero alla parte superiore e verrebbero sostituiti da altri, che si eleverebbero poi alla lor volta; si produrrebbe così una doppia corrente (fig. 252), la quale sarebbe causa di un pronto riscaldamento della massa liquida. Scaldando alla parte superiore, gli strati dilatati rimangono al loro posto e la propagazione del calore non può accadere che per conduttività.

dello spessore s, le cui faccie sono mantenute alle temperature costanti t e t', si potrà stabilire la relazione $Q = k \frac{t - t'}{s} \cdot a$, nella quale, k è il coefficiente di conduttività: si ponga in questa relazione $a = 1$, $s = 1$, $t - t' = 1$; si otterrà $Q = k$; relazione la quale mostra che, *per coefficiente di conduttività di un solido, si intende la quantità di calore che, in un'unità di tempo, passa attraverso all'unità di superfice di uno strato del solido, avente per spessore l'unità di misura, e le di cui faccie opposte sieno mantenute a temperature costanti, differenti fra loro di 1 grado.*

NOTA DEL TRADUTTORE.

Tra le esperienze che dimostrano la debole conduttività dell'aqua, si può citare la seguente: sul fondo di un tubo di vetro (fig. 320) si fissa un pezzetto di ghiaccio, sul quale si versa dell'aqua; si scalda quindi la parte media del tubo sopra una lampada ad alcool, e si giunge facilmente a far entrare in ebollizione l'aqua nella parte superiore del tubo, senza che perciò il ghiaccio entri in fusione.

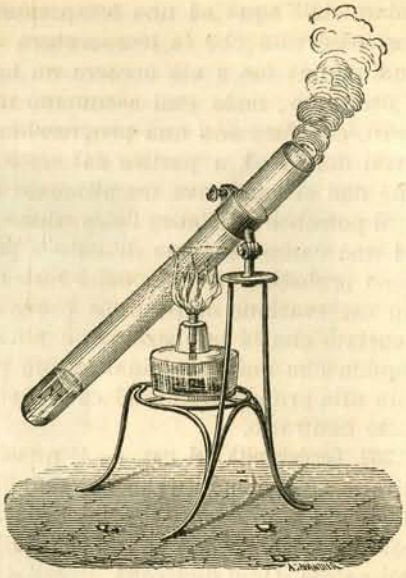


Fig. 320.

381. Misura della conduttività dei liquidi. — La conducibilità dell' aqua è debolissima è vero, ma reale; si può anche constatare che la propagazione del calore accade in questo liquido colle leggi sperimentali stesse accennate sopra; ciò risulta dalla seguente esperienza di Despretz: Egli faceva uso di una specie di vasca cilindrica in legno (fig. 321) di 1 metro circa di altezza e di 0^m, 20 di diametro, contenente dell'aqua. Lungo una generatrice del cilindro erano fissati dodici termometri, il di cui serbatojo occupava il centro della colonna liquida. Alla parte superiore di questa, si era posta una scatola di metallo, nella quale si faceva cir-

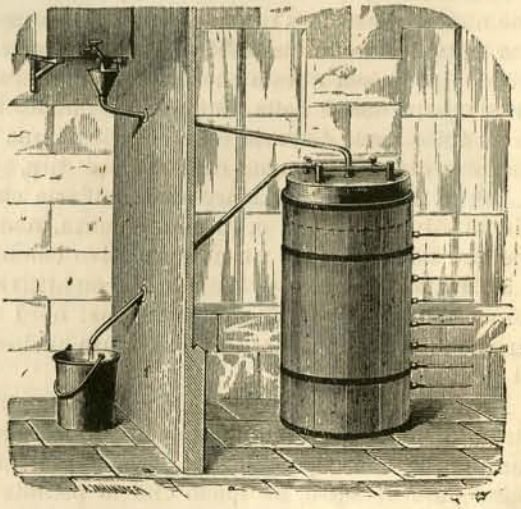


Fig. 321.

colare dell'aqua ad una temperatura vicina ai 100°. Despretz ha così osservato che la temperatura dei termometri si eleva gradualmente; ma a ciò occorre un tempo assai lungo; una trentina d'ore circa, onde essi assumano un eccesso costante. Questi eccessi, che formano una progressione geometrica decrescente, sono assai deboli ed, a partire dal sesto termometro, Despretz constatò che non si verificava un aumento di temperatura apprezzabile.

Si potrebbe attribuire l'elevazione di temperatura dei termometri, ad una comunicazione di calore per parte dei termometri; ciò è poco probabile in vista della loro cattiva conduttività: d'altronde un osservazione di Despretz prova la falsità di tal supposto; egli constatò che la temperatura è più elevata sull'asse della colonna liquida che non in vicinanza alle pareti; se queste avessero servito alla propagazione del calore si avrebbe dovuto riscontrare il fatto contrario.

382. Conduttività dei gaz. — È quasi impossibile di eseguire prove dirette sulla conduttività dei gas, giacchè è assai difficile di difendersi dai moti covettivi e dall'irradiamento diretto. Si può, ciò non ostante, assicurare che questi corpi sono assai cattivi conduttori del calore. Ogni qualvolta, infatti, i gas si trovino rinchiusi in piccole cavità, nelle quali i movimenti sono difficili, il sistema così formato è cattivissimo conduttore del calore. È da ciò che dipende la cattiva conduttività di molti tessuti, delle pelliccie, delle pelurie, dei feltri, della paglia, della segatura di legno ecc. Tali corpi, usati pei vestimenti, son detti *caldi*; è questa un espressione figurata che non si riferisce, s'intende, alla loro temperatura, ma che significa semplicemente che essi sono assai opportuni a difendere dal freddo; proprietà questa che deriva dalla loro cattiva conduttività. Se si comprimesse della piuma od una pelliccia, così da escluderne la maggior parte dell'aria e da ridurli ad una sottil lamina, queste sostanze diverrebbe meno calde, vale a dire, condurrebbero meglio il calore. È dunque alla presenza dell'aria che esse devono il loro difetto di conduttività e, di conseguenza, non si potrebbe non ammettere che l'aria sia un corpo cattivo conduttore del calore.

383. Pentola automatica. — Il difetto di conduttività delle guarniture, di feltro, vien qualche volta utilizzato, nel nord dell'Europa, nella costruzione di un apparecchio abbastanza curioso, noto sotto il nome di pentola automatica.

È questa una scatola di legno, foderata all'interno da un grosso strato di feltro, nella quale si può collocare una pentola metallica, munita del suo coperchio (fig. 322). Sopra questo si pone un cuscino pure di feltro, di modo che la pentola si trova in un inviluppo assai cattivo conduttore. Si pone nella pentola della carne, per esempio, con aqua e cogli opportuni condimenti; si fa bollire

l'aqua e poi si pone la pentola nella scatola, e si abbandona l'apparecchio a sè stesso; la cottura continuerà senza fuoco e, dopo qualche ora, sarà completa. Il potere isolante della guarnizione è

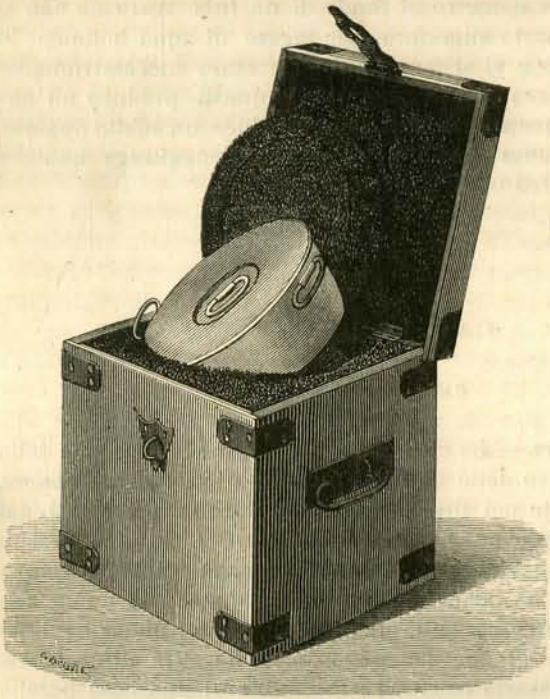


Fig. 322.

assai potente; si osserva infatti che, dopo tre ore, la temperatura dell'aqua non si è abbassata più di 10° o 15°; in questo tempo si è dunque conservata sufficentemente elevata per produrre la cottura della carne.

384. Conduttività dell'idrogeno. — L'idrogeno presenta un potere conduttore assai superiore a quello degli altri gas; questa proprietà è completamente in accordo colla natura attribuita a questo gas dai chimici, i quali lo considerano come un metallo allo stato gasoso. La conduttività dell'idrogeno si dimostra colle seguenti esperienze:

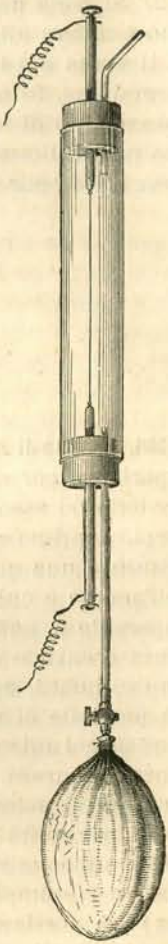


Fig. 323.

1.° Nell'asse di un tubo si tende un sottil filo di platino (fig. 323), nel quale si provoca l'incandescenza col passaggio della corrente elettrica. Se nel tubo si fa circolare dell'aria od altri gas, l'incande-

scenza si mantiene, in diverso grado, sempre meno però che nel caso in cui si faccia il vuoto. Se invece si fa passare dell'idrogeno, l'incandescenza scompare.

2.° Si pone un termometro al fondo di un tubo verticale che si può scaldare alla parte superiore, per mezzo di aqua bollente. Si fa il vuoto nel tubo e vi si fanno quindi passare successivamente diversi gas. Si osserva che la presenza di questi produce un abbassamento di temperatura. L'idrogeno produce un'effetto opposto. Ciò prova direttamente che la sua conduttività aggiunge qualche cosa al semplice effetto dell'irradiazione.

CAPITOLO IX.

CALORIMETRIA.

385. Quantità di calore. — La calorimetria comprende l'assieme delle esperienze per mezzo delle quali si misurano le *quantità di calore*, prodotte od assorbite nei diversi fenomeni termici presentati dai corpi. A primo aspetto può sembrare singolare il ripromettersi di misurare una quantità di calore, mentre è sconosciuta l'essenza dell'agente a cui si dà tal nome; ma questa singolarità non è che apparente e, nella ricerca delle quantità di calore, non v'ha differenza esenziale da ciò che ha luogo in molte altre circostanze. Non è, infatti, necessario conoscere la natura di una cosa perchè sia possibile di misurarla; se così fosse, bisognerebbe rinunciare a qualsiasi misurazione, giacchè nulla vi ha di cui ci sia nota l'essenza. Misurare, vuol dire cercare il rapporto che passa fra una quantità di natura qualunque ed una quantità della stessa specie, presa per unità di misura. La valutazione rigorosa di questo rapporto suppone solamente la nozione precisa di quantità uguali. Così, per esempio, ignoriamo cosa sia la forza, il tempo, l'angolo ecc; ma possiamo definire in modo netto delle forze uguali, dei tempi e degli angoli uguali, e, di conseguenza, possiamo concepire la riunione di un numero qualunque di queste quantità uguali, numero il quale è appunto la misura numerica della quantità di cui si tratta, riferita alla sua unità.

Rispetto al calore si procede in un modo analogo. Si è convenuto di assumere per unità un fenomeno calorifico determinato, per esempio l'elevazione di temperatura di un chilogrammo di aqua da 0 a 1°. Si dà il nome di *caloria* alla quantità di calore necessaria a produrre questo fenomeno.

Se due azioni termiche applicate a riscaldare 1 chilogrammo di aqua presa a 0°, producono ciascuno un elevamento di 1 grado, si dice che esse sviluppano ciascuna una *stessa quantità di calore*, uguale ad 1 caloria. Queste azioni termiche possono, del resto, essere assai differenti: una sarà, per esempio, la combustione del carbone; l'altra l'attrito, ecc. Dicendo che le quantità di calore sviluppate in questi due casi sono uguali, si usa una forma di linguaggio affatto analoga a quella che si usa quando si dice che due forze sono uguali, se producono una stessa inflessione in un dinamometro. Il fondamento della calorimetria è dunque altrettanto logico e rigoroso quanto quello della meccanica.

Dalla definizione dell'unità di calore, si deduce che, se un fenomeno qualunque produce l'elevamento di temperatura di m chilogrammi da 0° ad 1°, vi sarà produzione di m calorie. Sarebbe difficile, per non dire impossibile, di regolare il fenomeno in modo che si abbia a produrre l'aumento da 0° a 1° nell'aqua; non è però necessario di sottoporsi a questa condizione. Si osserva infatti che, almeno quando si tratta di temperature che non oltreppassano i 30° o 40°, la quantità di calore necessario a produrre l'elevazione di temperatura di 1°, è sempre assai sensibilmente la stessa di quella che corrisponde all'elevamento da 0 ad 1°.

Fondandosi su questa osservazione, si può dunque dire che, in generale, una caloria è la quantità di calore necessaria per far variare di 1° la temperatura di 1 chilogrammo d'aqua, purchè però si operi a temperature che non si allontanino da 0° più di una quarantina di gradi.

Per valutare la quantità di calore prodottosi in un fenomeno qualunque, basterà misurare la variazione di temperatura prodotta in una data massa d'aqua. Questo processo venne impiegato alla misura delle quantità di calore:

1.° Nelle variazioni di temperatura di diversi corpi (calor specifico o calorie di riscaldamento).

2.° Nei cambiamenti di stato fisico (calorie di fusione, di vaporizzazione).

3.° Nelle sorgenti di calore (calorie di combustione, di combinazione, ecc.).

386. Calor specifico. — Dicesi *calor specifico* (*calorie di riscaldamento*) di una sostanza, la quantità di calore necessaria ad elevare la temperatura dell'unità di peso della sostanza da 0 ad 1°. Se Q è la quantità di calore necessaria ad elevare l'unità di peso di un corpo da 0° ad T°, il quoziente $\frac{Q}{T}$ è ciò che dicesi calor specifico medio da 0° a T. L'esperienza mostra che questa quantità è presso a poco la stessa qualunque sia la temperatura, purchè questa non oltrepassi

i 100°. Se ne conclude, che occorrerà sensibilmente la stessa quantità di calore, per una variazione di 1° nella temperatura; si può dunque definire il calor specifico di una sostanza: la quantità di calore necessaria per far variare di 1° la temperatura dall'unità di peso di questa sostanza.

Da tutto quanto si è detto consegue che, se si indica con c il calor specifico di una sostanza, per scaldare l'unità di peso di questa sostanza di T gradi, occorreranno $c\ T$ unità di calore. Reciprocamente, se questo corpo si raffredda di T gradi, abbandonerà una quantità di calore misurata da $c\ T$. Se il corpo considerato ha un peso P, la quantità di calore C consumata o prodotta in uguali circostanze, è evidentemente:

$$Q = P\ c\ T.$$

Le diverse sostanze presentano dei calori specifici assai differenti. Si può dimostrare assai facilmente questo fatto per mezzo della seguente esperienza:

Si fa uso di un disco di cera, sulla cui faccia superiore si pongono delle sfere di ugual peso e scaldate alla stessa temperatura, di 200°, per esempio (fig. 324). Ciascuna sfera cede calore alla cera, ne determina la fusione, e si apre così una strada. Quelle sfere per le quali il calor specifico e maggiore, passano per le prime; è perciò che si vedono successivamente cadere le sfere di ferro, di rame, di stagno. Le sfere di piombo e di bismuto passano assai in ritardo e, se il disco è un po' spesso, non riescono ad attraversarlo.

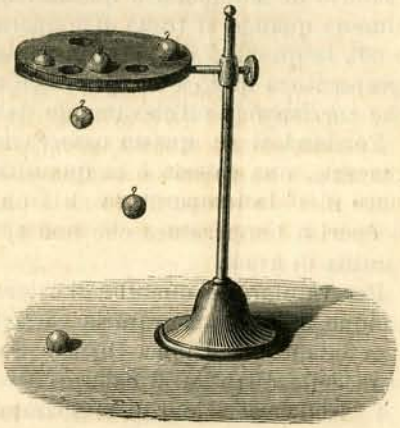


Fig. 324.

L'esperienza seguente permette di constatare la grande differenza che passa fra il calor specifico dell'aqua e quello del mercurio.

In un vaso contenente un chilogrammo d'aqua a 10°, si versa 1 chilogrammo di mercurio a 100°. Si agita il miscuglio; la temperatura dell'aqua si eleva gradatamente e raggiunge, dopo qualche momento, il valore massimo di 12°; ciò ha luogo, naturalmente, quando il mercurio e l'aqua son giunti alla stessa temperatura.

Risulta da questa esperienza, che l'aqua ha guadagnato 2 calorie; queste due calorie le furono fornite dal mercurio nell' abbassarsi

di 88°. La quantità di calore che produce in questo metallo la variazione di 88°, non produce dunque, in una stessa massa d'aqua, che una variazione di 2°. Il calor specifico del mercurio è dunque 44 volte più piccolo di quello dell'aqua. Il calor specifico dell'aqua è 1, vale a dire una caloria; il calor specifico del mercurio è dunque, dietro questa esperienza, presso a poco uguale ad $\frac{1}{44} = 0{,}028$.

La determinazione precisa di questa quantità esigerebbe cure minuziose. Per ora, l'esperienza precedente, non si deve considerare che come un mezzo di dimostrare la disegualianza del calor specifico dell'aqua e del mercurio.

Per determinare il calor specifico si possono usare diversi metodi.

387. Metodo del pozzo di ghiaccio. — In un blocco compatto di ghiaccio, si pratica una cavità che si possa chiudere con un coperchio, pure di ghiacco. Si scalda un peso P della sostanza da sperimentarsi, fino ad una temperatura T, lo si introduce nel pozzo di ghiaccio, che si copre immediatamente col suo coperchio. Il corpo si raffredda sino a 0°, abbandona così del calore, che determina la fusione di una certa quantità di ghiaccio; l'aqua che ne proviene, la si raccoglie e la si pesa. Sia m il suo peso; la quantità di calore necessaria alla sua fusione è, dietro quanto si è detto al (287), $m.79$. Ma questa quantità di calore proviene da un corpo la di cui temperatura si è abbassata di T gradi; ed è quindi uguale a $P\,c\,T$, essendo c il calor specifico della sostanza. Si ha dunque $P\,c\,T = m.\,79$ da cui:

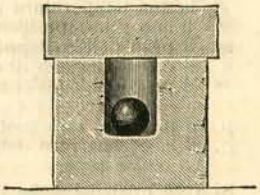


Fig. 325.

$$c = \frac{79\,m}{P\,T}$$

Questo processo, dovuto al fisico svedese Wilke, è di difficile applicazione ne nostri climi, e, d'altronde, è di esattezza dubbia, in causa dell'incertezza sulla temperatura iniziale del ghiaccio, la quale, specialmente se il blocco è grosso, potrebbe benissimo non esser 0.

388. Metodo delle mescolanze — Principio. — Il metodo delle mescolanze consiste in una esperienza analoga a quella indicata per mostrare l'ineguaglianza di calor specifico dell'aqua e del mercurio.

Si porta ad una certa temperatura T un peso determinato P della sostanza da sperimentarsi. D'altra parte, in un vaso di rame, detto *calorimetro*, si ha un peso P' d'aqua alla temperatura t: si immerge il corpo nell'aqua; questa si scalda e raggiunge una certa temperatura massima Θ.

Nello scambio di calore prodottosi, l'aqua ha guadagnato una quantità di calore misurata da $P'\,(\Theta - t;)$ il corpo, all'opposto, ha perduta una quantità di calore espressa da: $P\,x\,(T - \Theta)$, essendo x il calor specifico della sostanza. Paragonando le due espressioni si ha:

$$P'\,(\Theta - t) = P\,x\,(T - \Theta) \qquad (a)$$

da cui

$$x = \frac{P'\,(\Theta - t)}{P\,(T - \Theta)}$$

389. Cause di errore. — Questo è il principio del metodo delle mescolanze; esaminando però un po' da vicino la quistione, si capisce facilmente che l'espressione (a) non è che approssimata, e ciò per diverse cause:

I. Questa equazione suppone che non esista scambio di calore che fra la sostanza e l'aqua; ciò che non è vero, infatti:

1.° Il corpo è spesso rinchiuso in un involucro, che si raffredda con esso e fornisce una parte del calore ceduto.

2.° Non è l'aqua sola che si scalda, ma bensì anche il calorimetro, il termometro e tutti gli altri organi che potessero essere annessi all'apparecchio; per esempio, un agitatore impiegato a stabilire più prontamente l'uniformità di temperatura nel liquido.

È facile lo stabilire l'equazione che esprime lo scambio di calore nel caso il più generale: basta scrivere che la quantità di calore ceduta dal corpo e dal suo inviluppo è uguale a quella guadagnata dal calorimetro, dal termometro e dall'agitatore. Sieno perciò:

P il peso del corpo;
T la sua temperatura iniziale;
x il suo calor specifico;
m il peso dell'inviluppo;
α il calor specifico di questo;
P' il peso dell'aqua contenuta nel calorimetro;
p il peso del calorimetro;
c il calor specifico della sostanza di cui è fatto.
p' il peso del vetro del termometro;
c' il suo calor specifico;
p'' il peso del mercurio;
c'' il suo calor specifico;
p''' il peso dell'agitatore;
c''' il calor specifico della sostanza di cui è fatto.
Θ la temperatura finale.

Si avrà evidentemente l'equazione:

$$P\,x\,(T-\Theta)+m\,\alpha\,(T-\Theta)=(P'+p\,c+p'\,c'+p''\,c''+p'''\,c''')\,(\Theta-t),$$

equazione dalla quale si deduce:

$$x=\frac{(P'+p\,c+p'\,c'+p''\,c''+p'''\,c''')\,(\Theta-t)-m\,\alpha\,(T-\Theta)}{P\,(T-\Theta)}$$

L'equazione precedente è il tipo di tutte quelle altre che si riferiscono a quistioni di questa specie; non vi può esser differenza che nel numero dei termini, ciascuno di questi esprimendo sempre una quantità di calore guadagnata o perduta da uno dei corpi che entrano nel miscuglio.

L'espressione che, nel valore di x, è moltiplicata per $(\Theta-t)$, costituisce ciò che dicesi *valore del calorimetro ridotto in aqua.* Infatti, in una massa d'aqua misurata da questo prodotto, e che ricevesse esclusivamente il calore ceduto dal corpo, la variazione termometrica sarebbe precisamente quella osservata. Nei termini che costituiscono il valore in aqua del calorimetro si trovano il calor specifico della sostanza di cui son formati il calorimetro e l'agitatore; questa sostanza è, in generale, l'ottone, del quale si può ritenere noto il calor specifico, per esperienze anteriori. In quanto ai due termini provenienti dal termometro, si può determinarli direttamente con una speciale esperienza, sperimentando su di un corpo di calor specifico noto.

II. Il calorimetro, scaldato dal corpo che vi si introduce, perde per irradiazione una certa quantità di calore, della quale conviene tener conto, quando si voglia operare rigorosamente. Rumford aveva proposto, a tale scopo, un metodo di compensazione assai semplice. Consiste esso nell'abbassare la temperatura iniziale del calorimetro al disotto della temperatura ambiente, di un numero di gradi uguale a quello dell'eccesso della temperatura finale sulla temperatura ambiente stessa; con preliminari tentativi si arriva facilmente a tal risultato. In questa guisa si può immaginar divisa l'esperienza in due periodi; l'uno durante il quale il ca-

lorimetro guadagna calore per irradiazione, l'altro durante il quale ne perde; siccome gli eccessi di temperatura sono uguali, si può ammettere che queste quantità sono uguali. Ciò non ostante, questa compensazione non è rigorosa, giacchè i due periodi non hanno la stessa durata; gli sperimentatori seguono perciò generalmente un'altro metodo, fondato sulle leggi del raffreddamento, che dà risultati abbastanza approssimati.

III. Il calorimetro perde calore anche per parte dei sostegni. Questa perdita non può venir che attenuata; ma, facendo uso di sostegni assai cattivi conduttori, diminuendo la sezione e l'estensione delle superfici sulle quali riposa il calorimetro, si potrà trascurare il calore perduto per questa via.

Si aggiunga che devonsi prendere precauzioni speciali, onde la temperatura iniziale del corpo sia ben conosciuta, e per evitare il raffreddamento nel tragitto dall'ambiente dove lo si riscalda, al calorimetro.

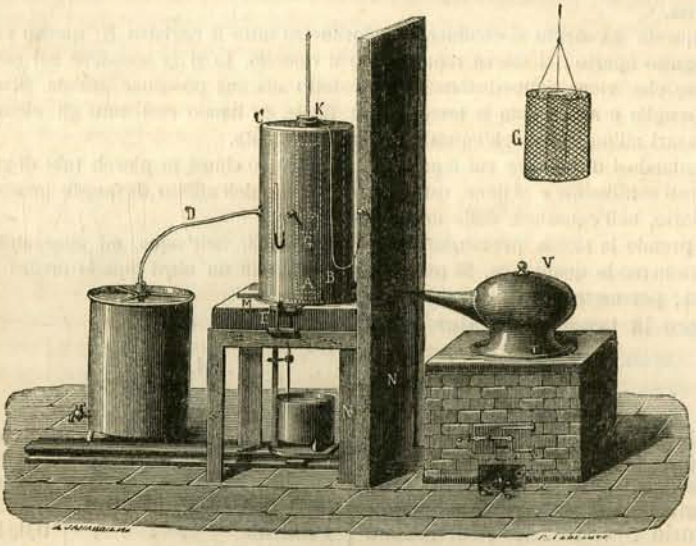


Fig. 326.

390. Apparecchio di Regnault. — Regnault ha eseguito lavori importanti intorno al calore specifico dei solidi e dei liquidi, facendo uso di un apparecchio nel quale son riunite le migliori condizioni di comodità e di esattezza. Il corpo da studiarsi, diviso in piccoli frammenti, vien posto in un piccolo canestro cilindrico *G* in fili di ottone assai sottili (fig. 326). Questo canestro vien posto in una stufa *A*, chiusa superiormente dal tappo *K*, ed inferiormente da un registro *E*, che si può aprire a volontà. Il canestro, portato da un filo, è appeso al tappo *K*, il quale dà passaggio all'asta di un termometro, il di cui serbatojo occupa un piccolo tubo cilindrico, posto al centro del canestro e fatto della stessa sostanza di questo. La stufa è circondata da una doppia parete; in una *B* circola del vapore d'aqua, prodotto nella caldaja *V* e che va a condensarsi, per mezzo di un tubo *D*, in un refrigerante; nell'altra *C* si trova dell'aria, destinata ad impedire il raffreddamento in causa del contatto coll'aria esterna.

Il sistema riposa sulla faccia *M* di un vaso metallico, attraversato da un' apertura di passaggio, pieno d'aqua e del quale, la faccia verticale *N*, serve di schermo e protegge il calorimetro dall' azione del fornello. Questo calorimetro è formato da un vaso in ottone, assai sottile e terso, appoggiante su fili di seta tesi al fondo di un secondo vaso più grande che lo contiene. Quest'ultimo è sostenuto per tre punti su di un piccolo carretto di legno, che può scorrere facilmente su di un regolo che gli serve di guida.

Il termometro destinato a misurare la temperatura del calorimetro è portato da un piccolo braccio unito al carretto.

Ciò posto, ecco come si conduce l'esperienza:

Si introduce il corpo nel cestello e questo lo si pone nella stufa, dove si fa circolare il vapore. Durante questa fase, il calorimetro è tenuto lontano dall'apparecchio, quanto è possibile. Dopo un tempo, che varia a seconda dei casi, ma che è sempre abbastanza lungo, il termometro della stufa assume una temperatura stazionaria.

A questo momento si conduce il calorimetro sotto il registro *E*; questo viene in seguito aperto, si stacca rapidamente il cestello, lo si fa scendere nel calorimetro, che viene immediatamente ricondotto alla sua posizione iniziale. Si agita il miscuglio e se ne nota la temperatura finale. Si hanno così tutti gli elementi necessari all'impianto dell'equazione più sopra citata.

Trattandosi di operare sui liquidi, questi vengono chiusi in piccoli tubi di vetro a pareti sottilissime e si tiene, naturalmente, conto dell'effetto di questo involucro ausiliario, nell'equazione delle mescolanze.

Si prende la stessa precauzione pei corpi solubili nell' aqua, od attaccabili da questa in modo qualunque. Si può anche far uso di un' altro liquido invece dell'aqua; per esempio dell'essenza di terebenteno.

Ecco la tavola del calor specifico di alcune sostanze:

Aqua 1,00000

SOLIDI

Antimonio	0,05077	Nichelio	0,10860
Argento	0,05601	Oro	0,03244
Arsenico.	0,08140	Ottone	0,09391
Bismuto.	0,03084	Platino	0,03243
Cadmio	0,05669	Piombo	0,03140
Carbone di legna . .	0,24150	Piombaggine . . .	0,21800
Diamante	0,14680	Rame	0,09215
Ferro.	0,11379	Solfo.	0,20259
Fosforo	0,18870	Stagno	0,05623
Jodio	0,05412	Vetro	0,19768
Magnesio	0, 0250	Zinco	0,09555

LIQUIDI

Acido acetico . . .	0,6589	Essenza di terebenteno	0,4629
Alcool a 36°	0,6735	Etere	0,5157
Benzina	0,3952	Mercurio	0,03332

391. Osservazioni intorno al calor specifico dell' aqua. — Dall' ispezione di questa tavola si deduce che l'aqua è quella tra tutte le sostanze che presenta il calor specifico il più elevato; è dunque il liquido che, a parità di massa, assorbe la maggior quantità di calore per

scaldarsi di un certo numero di gradi. Così, per esempio, un chilogrammo d'aqua, per scaldarsi da 0° a 100°, abbisogna di circa 100 calorie. La stessa quantità di calore applicata ad un chilogrammo di ferro, ne eleverebbe la temperatura quasi fino a 1000°, vale a dire al rosso chiaro assai pronunciato. Siccome, d'altra parte, il potere conduttivo dell'aqua è assai debole, ne consegue che il suo raffreddarsi dev'essere assai lento, e che, per conseguenza, dev'essere capace di fornire per lungo tempo il calore da essa assorbito. È questo appunto il principio sul quale riposa il riscaldamento ad aqua calda, è pure il fondamento di pratiche assai comuni. Se si pone, per esempio, nel letto una bottiglia di vetro o di grès piena d'aqua bollente, il calore abbandonato dall'aqua, basterà per mantenere durante sette ad otto ore una temperatura conveniente. Se si facesse uso, come si fa qualche volta, di un ferro scaldato, anche se si vuole oltre i 100 gradi, l'effetto calorifico sarebbe più intenso e più pronto, ma di durata notevolmente minore.

Gli è specialmente sotto il punto di vista delle temperature terrestri che la capacità dell'aqua presenta una grande importanza. Se infatti si ravvicina questa proprietà a quelle di cui si è parlato (287 e 317), si vede come, tutte le volte che l'aqua prova una modificazione termica di qualsiasi natura, si ha assorbimento o produzione di una grandissima quantità di calore. Se, per esempio, ha luogo un elevamento di temperatura, una gran parte del calore messo in giuoco serve, sia al riscaldamento dell'aqua stessa, sia alla sua vaporizzazione, sia alla fusione del ghiaccio, nel caso che questo esista. All'opposto; accade un abbassamento di temperatura; una notevole quantità di calore è restituita all'aria dal raffreddamento dell'aqua, dalla condensazione del vapore o dalla formazione del ghiaccio. Per tal modo, in ciascuno dei due casi, la variazione di temperatura riesce notevolmente ristretta.

L'aqua nella natura agisce dunque da moderatore delle temperature, così come nelle macchine un volante serve ad impedire le grandi variazioni di velocità. Questo confronto calza giustamente, giacchè, sia nell'un caso che nell'altro, è per la comunicazione di movimento a masse difficili da smuoversi, che si ottiene l'effetto esposto.

Se l'aqua sparisse dalla superfice del globo, si produrrebbero, dal giorno alla notte, delle variazioni straordinarie di temperatura, lontane da qualunque confronto con quelle che si osservano.

392. Legge di Dulong e Petit.— Dulong e Petit hanno trovato che, moltiplicando il calore specifico delle diverse sostanze pel loro peso atomico, si ottiene un prodotto costante. Questa legge è di notevole importanza, giacchè essa prova che gli atomi delle diverse sostanze esigono la stessa quantità di calore per essere scaldati di uno stesso numero di gradi.

Nelle combinazioni chimiche analoghe, per esempio; i solfati neutri, gli azotati neutri, i protocloruri ecc., il prodotto del peso atomico pel calore specifico è pure costante (legge di Neumann). Questo prodotto varia però da una classe di combinazioni all'altra.

393. Calor specifico dei gas. — I limiti di questo trattato non permettono di entrare nel dettaglio delle complicate operazioni necessarie alla ricerca del calor specifico dei gas. Si osservi soltanto che pei gas occorre di distinguere due specie di calor specifico:

1.° *Calor specifico a pressione costante.* — È questa la quantità di calore necessaria ad elevare di 1 grado la temperatura dell'unità di peso di un gas che può liberamente dilatarsi, conservando costante la pressione;

2.° *Calor specifico a volume costante.* — È la quantità di calore necessaria ad elevare di 1 grado la temperatura dell'unità di peso di un gas, obbligato a conservare costante il proprio volume.

Egli è evidente che il primo calor specifico dev'essere maggiore del secondo, giacchè, oltre a questo, comprende anche il calore necessario a produrre la dilatazione.

Una uguale distinzione potrebbe, del resto, farsi anche pel calor specifico dei solidi e dei liquidi, ma essa non avrebbe alcuna pratica importanza, giacchè infatto, questi corpi si dilatano sempre liberamente quando vengono a scaldarsi. Ben diversa è la quistione rispetto ai gas, ed è perciò che il rapporto tra il calor specifico a pressione costante e quello a volume costante, presenta una grande importanza in tutte le quistioni relative alla meccanica dei gas. Dietro le esperienze di Clément Dersormes e di Masson, questo rapporto è uguale ad 1,41.

394. Calorie di fusione. — La quantità di calore consumata nel passaggio di un corpo dallo stato solido allo stato liquido, puossi determinare col metodo delle mescolanze. Quando il corpo si fonde a temperature più o meno elevate, si fa fondere prima il corpo e lo si immerge nel calorimetro. In questa operazione è importante di prendere delle precauzioni, per impedire la vaporizzazione dell'aqua. Sieno:

P il peso del calorimetro, ridotto in aqua;
t la sua temperatura iniziale;
Θ la sua temperatura finale;
p il peso del corpo;
T la sua temperatura iniziale;
T' la sua temperatura di fusione;
c il suo calor specifico allo stato solido;
c' il suo calor specifico allo stato liquido.

L'equazione dell'esperienza sarà, poste x le calorie di fusione:

$$P(\Theta - t) = px + pc'(T - T') + pc(T' - \Theta),$$

astrazione fatta però del termine correttivo, dovuto alla irradiazione, il quale si determinerà coi mezzi ordinari.

Una determinazione analoga, ma inversa, si dovrà fare quando si tratti di corpi che, come il bromo, il mercurio, sono liquidi alle temperature ordinarie.

Ecco le calorie di fusione di alcune sostanze:

SOSTANZE	Punto di fusione	CALORE SPECIFICO allo stato solido	CALORE SPECIFICO allo stato liquido	Calorie di fusione
Aqua	0°, 00	0, 5040	1, 0000	79, 250
Fosforo	44, 20	0, 2000	0, 2000	5, 400
Solfo	111, 00	0, 2020	0, 2540	9, 568
Bromo	—7, 32	0, 0840	0, 1670	16, 185
Stagno	232, 00	0, 0560	0, 0640	14, 252
Bismuto	266, 00	0, 0508	0, 0565	12, 640
Piombo	326, 00	0, 0514	0, 0402	5, 369
Mercurio	—39, 00	0, 0519	0, 0555	2, 820

395. Calorie di vaporizzazione. — Le calorie di vaporizzazione, ed in particolare quelle dell'aqua, si possono misurare per mezzo dell' apparecchio di Despretz (fig. 327).

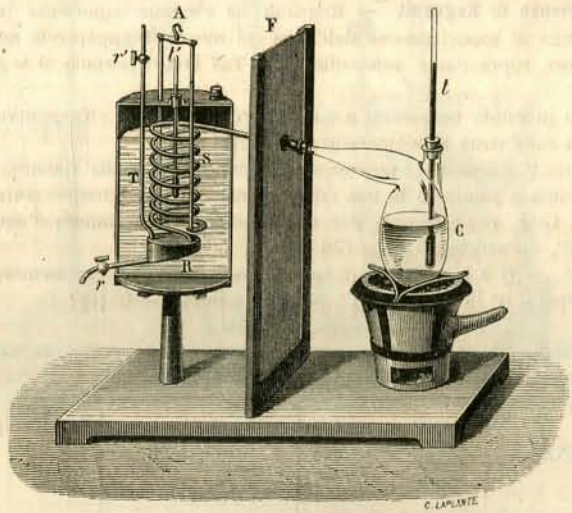


Fig. 327.

Si fa bollire il liquido in una storta *C*, comunicante con un serpentino *S*, circondato da aqua fredda e terminante al serbatojo *R*. Il vapore condensato nel serpentino si riduce in questo serbatojo, e lo si può estrarre mediante il robinetto *r*. Il tubo *T* serve a mettere, per mezzo del robinetto *r'*, il serbatojo in comunicazione sia coll'atmosfera, sia con uno spazio dove regna una pressione determinata, così da provocare l'ebollizione del liquido ad una temperatura più o meno alta: un termometro *t* misura questa temperatura. *A* è un agitatore destinato a mantenere costante la temperatura della massa d'aqua del calorimetro, temperatura accusata dal termometro *t'*. Per procedere ad un'esperienza, si incomincia dal far bollire il liquido nella storta e, solamente quando esso è in piena ebollizione, si stabilisce la comunicazione col serpentino. La temperatura del calorimetro venne preventivamente abbassata sotto quella ambiente di un certo nu-

mero di gradi, e l' esperienza si spinge fino al momento in cui la temperatura stessa del calorimetro superi di un ugual numero di gradi la temperatura ambiente: in questo modo si può ammettere che la compensazione sia abbastanza esatta.

Sia P il peso del calorimetro ridotto in aqua, t la sua temperatura finale; la quantità di calore da esso guadagnata è $P(\theta - t)$; questa quantità di calore proviene, in parte dal calore sviluppatosi al momento della condensazione del vapore, ed in altra parte dall' abbassamento di temperatura del liquido condensato, nel passare dalla temperatura T di ebollizione del liquido stesso, sino a quella del calorimetro. Poste dunque x le calorie di vaporizzazione, p il peso del liquido raccolto nella scattola R e c il calor specifico di questo, si avrà:

$$P(\theta - t) = p\,x + p\,c\,(T - \theta).$$

Questa esperienza presenta delle cause d'errore abbastanza gravi, quali sono; il riscaldamento del calorimetro per l'irradiazione del fornello, ad onta dell' interposizione dello schermo F; la propagazione di calore per mezzo del collo della storta, l'introduzione di aqua trascinata allo stato liquido nel serpentino.

396. Esperienze di Regnault. — Regnault ha eseguite esperienze importanti sul calor latente di vaporizzazione dell'aqua col mezzo di apparecchi nei quali le cause di errore sopra citate sono eliminate. Tali lavori portano al seguente risultato:

La quantità di calore necessaria a far passare in vapore 1 chilogrammo d'aqua a 100°, senza cambiarne la temperatura, è di 536 calorie.

Nell'industria è sopratutto interessante la conoscenza della quantità totale di calore necessaria a produrre in una volta, e l'elevamento di temperatura, e la volatilizzazione. Così, per esempio, per trasformare 1 chilogrammo d'aqua a 0° in vapore a 100°, occorreranno circa 636 calorie.

In generale, se Q è la quantità di calore necessaria per trasformare 1 chilogrammo d'aqua a 0° in vapore a T°, si ha con molta esattezza:

$$Q = 606{,}5 + 0{,}305\,T.$$

La tavola seguente, ricavata dai lavori di Favre e Silbermann, fornisce le calorie di vaporizzazione di alcuni liquidi, alla temperatura della loro ebollizione.

SOSTANZE	Temperatura di ebollizione	Calorie di vaporizzazione	SOSTANZE	Temperatura di ebollizione	Calorie di vaporizzazione
Alcool assoluto .	78°,0	208	Acido butirrico .	164°,0	115
Etere	38,0	58	Etere acetico . .	74,0	100
Acido formico. .	100.0	169	Essenza di terebenteno	156,0	69
Acido acetico . .	120,0	102	Essenza di limone	165,0	70

397. Calore sviluppato dalle combinazioni chimiche. — I signori Favre e Silbermann hanno immaginato un' apparecchio assai comodo per la ricerca del calore sviluppato nelle azioni chimiche. È desso formato da una spece di grosso termometro a mercurio (fig. 328), il di cui serbatojo in ferro R, presenta una o più cavità cilindriche, o muffole, come si vede in m. Queste cavità ricevono dei tubi di vetro o di platino, nei quali si compie l'azione chimica. Si introduce dapprincipio una delle sostanze, e per mezzo di una pipetta

ricurva, che contiene l'altra sostanza in *B*, si fa giungere questa nel tubo: basta perciò di disporre la pipetta nella posizione indicata dai tratti punteggiati.

Nella parte superiore del serbatojo si trova un'apertura munita di un tubo, contenente uno stantuffo in acciajo *P*, penetrante nel mercurio e che può esservi introdotto più o meno profondamente, per mezzo della manovella a vite *M*. Quando si vuol esperimentare, si manovra lo stantuffo in modo che il mercurio arrivi nel tubo laterale *t t'* fino allo zero; si fa accadere la reazione chimica e si osserva il movimento della colonnetta di mercurio, per mezzo di un cannocchiale *L*. Onde misurare la quantità di calore corrispon-

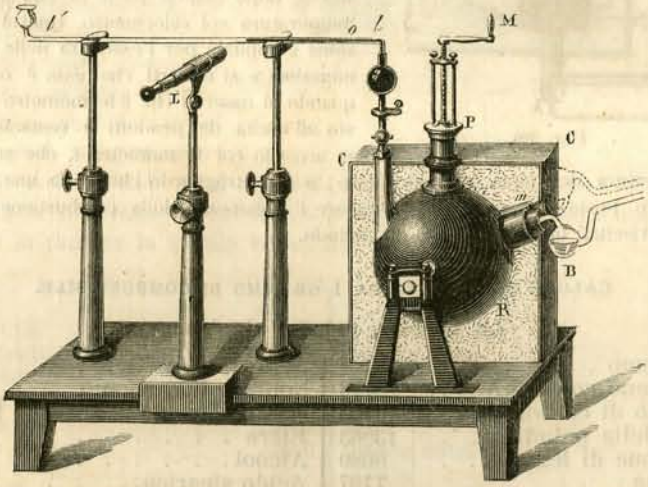


Fig. 328.

dente a questo spostamento, si introduce nella muffola un peso determinato d'aqua calda, la vi si lascia per qualche tempo, e, dal suo raffreddamento, si può dedurre la quantità di calore da essa ceduta all'apparecchio. Questa quantità di calore produce uno spostamento determinato; è quindi facile il dedurre la quantità di calore corrispondente ad uno spostamento qualunque. L'apparecchio è chiuso in una scattola piena di ovatta, allo scopo di proteggerlo dall'irradiazione.

Quando la reazione chimica che si tratta di studiare è una combustione, l'apparecchio deve avere una disposizione differente. Favre e Silbermann hanno fatto costruire, all'uopo, un'apparecchio assai perfetto, la di cui complicazione però ci impedisce di darne la descrizione.

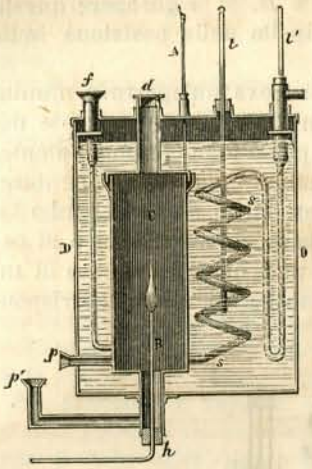


Fig. 329.

L'apparecchio assai più semplice di cu se è servito Dulong nelle sue esperienze sullo stesso soggetto, basta a far intendere la disposizione generale degli apparecchi di questa spece. Esso è formato da una camera di combustione *C* (fig. 329), posta al centro di una gran massa d'aqua, contenuta nel calorimetro *D*, nella quale si muove un'agitatore, la di cui asta si vede in *A*. Il combustibile, se è gasoso, arriva all' estremità del becco *B*, e l'ossigeno destinato a bruciarlo, dai tubi *f* o *p'*. I prodotti della combustione seguono il serpentino *s* e sfuggono all' esterno, dopo essersi posti in equilibrio di temperatura col calorimetro. Questa condizione è capitale per l'esattezza delle determinazioni e si è certi che essa è ottenuta quando si osserva che il termometro *t'*, posto all'uscita dei prodotti è costantemente in accordo col termometro *t*, che segna la temperatura dell' aqua del calorimetro; *p* è un traguardo chiuso da una lamina di vetro, posto allo scopo di sorvegliare l' andamento della combustione. Ecco alcuni risultati ottenuti con questo metodo.

CALORE SVILUPPATO DA 1 GRAMMO DI COMBUSTIBILE.

(*La caloria è riferita al grammo*).

Idrogeno	34462	Solfo molle.	2258
Idrogeno con cloro . .	23783	Solfuro di carbonio .	3400
Ossido di carbonio . .	3403	Gas olefacente . . .	11857
Gas delle paludi . . .	13063	Etere	9028
Carbone di legna . .	8080	Alcool.	7184
Grafite	7797	Acido stearico. . . .	9616
Diamante.	7770	Essenza di terebenteno	10852
Solfo nativo.	2261	Olio d' olivo	9862

Come si vede, di tutti i combustibili, l'idrogeno è quello che possiede il maggior potere calorifico. Si spiegano così i risultati ottenuti col canello a gas ossigeno ed idrogeno.

398. Calore animale. — Gli animali sono sede di diversi fenomeni, causa della produzione di una certa quantità di calore; del carbonio vi si cambia in acido carbonico, dell' idrogeno in aqua. Insieme a queste reazioni ne accadono altre, che danno un risultato inverso, ed è ancora difficile, nello stato attuale della scienza, lo stabilire un rapporto esatto tra l'azione risultante e la quantità di calore effettivamente prodotta. Quest' ultima si misura, del resto, con metodi affatto simili a quelli esposti sopra.

L'animale vien posto in una spece di gabbia, posta essa stessa in una cassa, di rame (fig. 330), sospesa al centro della massa d'aqua

del calorimetro. L'aria, spinta da un gasometro, arriva da apposito tubo, ed i prodotti della respirazione, dopo di aver circolato nel serpentino, escono da un secondo tubo e si portano ad un secondo gasometro, nel quale si raccolgono, per poterli in seguito studiare.

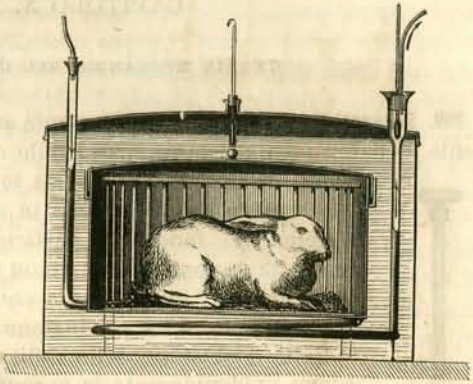


Fig. 330.

Si deve al calore prodotto dalle diverse azioni chimiche risiedenti nel corpo degli animali, se la temperatura interna di questi si mantiene sensibilmente costante. Questa costanza non è assoluta, però le variazioni son sempre contenute entro limiti assai ristretti. Del resto, sotto questo rapporto, si hanno differenze assai notevoli nelle diverse classi d'animali, come lo mostra la tavola seguente.

MAMMIFERI	Gradi	RETTILI	Gradi
Scimmia	39,7	Tartaruga	28,9
Pipistrello	37,8	Serpente	31,4
Scojattolo	38,8	Rana	25,0
Lepre	37,8	PESCI	
Tigre	37,2		
Cane	39,0	Pesce cane	25,0
Gatto	38,3	Trota	14,0
Cavallo	37,5	Pesce volante	25,5
Montone	39,3	MOLLUSCHI	
Bue	39,0		
Porco	40,5	Ostrica	27,0
Elefante	37,5	Lumaca	24,0
UCCELLI		CROSTACEI	
Gufo	40,0	Gambero	26,0
Papagallo	41,1	Granchio di mare	22,0
Tordo	42,8	INSETTI	
Passero	42,1		
Piccione	43,0	Lucciola	23,3
Pollo	42,5	Grillo	22,5
Gallo adulto	43,9	Vespa	24,4
Pollo d'India	42,7	Scorpione	25,3
Anitra comune	43,9		

CAPITOLO X.

TEORIA MECCANICA DEL CALORE.

399. Sorgenti di calore. — È comunemente noto cosa s'intende per sorgente di calore; è un sistema suscettibile di scaldar l'aria od i corpi vicini, senza che la propria temperatura diminuisca, e ciò durante tutto il tempo in cui si produce in questo sistema un fenomeno particolare, che caratterizza appunto la sorgente. Così, in un fornello in cui si abbruci del carbone, finchè vi sia combustibile e continua la combustione, si ha produzione non interrotta di calore.

Fig. 231.

Fatta esclusione dalle radiazioni solari, che costituiscono evidentemente la sorgente di calore più importante alla superfice del nostro globo, quella cioè alla quale son subordinati nel modo più stretto e la vita e lo sviluppo degli esseri organizzati, è alla combustione che si ricorre onde avere il calore necessario ai bisogni dell'economia domestica, dell'industria o delle arti. La combustione è un fenomeno chimico; è la combinazione dell'ossigeno, *corpo comburente*, con un'altra sostanza detta *combustibile*. Teoricamente e dal punto di vista della chimica pura, i corpi combustibili sono assassai numerosi; nella pratica non si utilizzano però che sostanze, spesso assai complesse, nelle quali si trovano, in proporzione più o meno dominante, l'idrogeno, e sopratutto il carbonio. Quest' ultima sostanza esiste anche quasi da sola in certi combustibili, quali il carbone di legna ed il carbone minerale (antracite). I potenti effetti calorifici che si ottengono dalle correnti elettriche son dovuti ad una causa analoga; si vedrà, più tardi, infatti, che ciò devesi all'ossidazione dello zinco delle pile, vale a dire alla sua combustione.

La quistione delle sorgenti di calore ha sempre assai preoccupato i fisici non solo dal punto di vista della pratica, ma anche, e più specialmente, dal punto della teoria. Sembra a prima giunta infatti, che qui si abbia una specie di creazione di calore e quindi di forza; questa è evidentemente un'idea inamissibile. Si trattava dunque di trovare qual' era, in realtà, la modificazione fisica alla quale è dovuta la comparsa di calore. Questa teoria è già arrivata ad un punto notevole di solidità e di precisione; essa è destinata, senza dubbio, a prendere un'estensione

di più in più grande; è perciò che si intende di darne qui un'idea succinta.

400. Relazione tra il calore ed il lavoro meccanico. — Egli è chiaro che col calore si può produrre del lavoro; tutto il lavoro fornito dalle macchine termiche (macchine a vapore, macchine ad aria calda, ecc.) non ha altra origine. Si può concepirlo del resto con una delle più semplici esperienze: si prenda l'acciarino pneumatico (fig. 331) e si supponga che, lo stantuffo essendo in una posizione qualsiasi, si scaldi l'aria che trovasi al di sotto di esso; quest'aria si dilaterà, lo stantuffo, che ha un certo peso, si sposterà di una certa quantità; si ha dunque un lavoro compiuto.

Reciprocamente; col lavoro si può produrre del calore. Se, per esempio, nella parte cava dello stantuffo si pone un pezzetto di esca od un fiocco di cotone fulminante, comprimendo bruscamente l'aria contenuta nell'apparecchio, si ha sviluppo di calore, in quantità abbastanza grande per determinare l'accensione di quelle sostanze. Gli è in vista di questa esperienza che l'apparecchio venne detto acciarino pneumatico. Gli antichi fisici davano di queste esperienze una spiegazione che oggigiorno può sembrare singolare. Essi supponevano che il calore o *calorico* fosse una specie di fluido imponderabile che s'introduce nei corpi, producendo in una volta, ed aumento di volume, ed elevamento di temperatura. Se dunque si comprime un corpo, il *calorico* che aveva servito a dilatarlo viene, per così dire, *spremuto:* di qui la produzione di calore. Da questa teoria risulta inevitabilmente questa conseguenza, che il calorico che si trova in un dato sistema di corpi forma una massa determinata, ed allora esso non può aumentare di quantità in uno di essi, senza che si produca un fenomeno inverso in un altro. Vi sono invece dei casi nei quali si vede tra corpi in contatto prodursi calore, senza che riesca possibile di scorgere il fenomeno inverso che corrisponde a questa produzione; è ciò che accade, per esempio, nell'attrito.

401. Calore sviluppato nell'attrito. — L'attrito è una sorgente di calore ben nota. I selvaggi, si dice, si procurano del fuoco strofinando due pezzi di legno secco l'uno contro l'altro. L'attrito degli assi delle vetture contro le ruote, dà luogo ad un riscaldamento, che potrebbe produrre gravi accidenti, se non se ne diminuisse l'intensità coll'interposizione di una sostanza grassa.

Nei corsi di fisica si può rendere sensibile lo sviluppo di calore per attrito, mediante le seguente esperienza, immaginata da Tyndall.

Un tubo di vetro contenente dell'aqua (fig. 332) e chiuso da un tappo, può ricevere un rapido movimento di rotazione intorno al proprio asse. Durante il suo movimento lo si stringe in una

pinzetta di legno, ricoperta di cuojo. L'aqua si scalda gradatamente e finisce per raggiungere il punto di ebollizione; arriva un momento in cui il tappo è proiettato e seguito da un abbondante getto di vapore.

Quando dunque si strofinano fra loro due corpi, ha luogo un fenomeno calorifico, il quale può essere assai intenso, e non si scorge alcun corpo il di cui raffreddamento corrisponda al calore sviluppato.

Al principio del nostro secolo, Rumford aveva studiato con molta cura il fatto del calore sviluppato nella tornitura dei cannoni; riconobbe egli che questa quantità di calore era enorme, e da ciò fu condotto a rinunciare alla materialità del calorico. Ma i partigiani di questa ipotesi supponevano che la capacità calorifica della

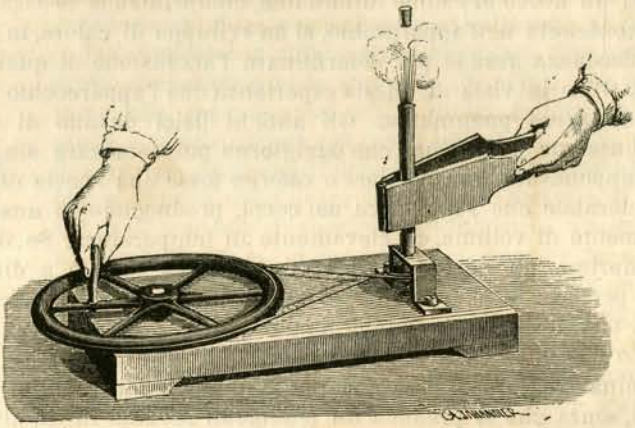


Fig. 332.

materia polverizzata fosse minore di quella della materia solida; in questa maniera sarebbe spiegato il fenomeno, ponendo che l'eccesso di calore necessario per portare ad una data temperatura il metallo allo stato primitivo, sia appunto quello che compare nell'operazione meccanica. Ma questa supposizione è completamente gratuita, giacchè non esiste differenza sensibile, apprezzabile, fra la capacità calorifica del metallo aggregato e quella del metallo in polvere. Del resto, una esperienza celebre su questa quistione, uccide questa spiegazione in modo affatto decisivo. Davy immaginò di strofinare l'uno contro l'altro due pezzi di ghiaccio e trovò che questo si fondeva sotto l'azione dello strofinamento. Ora la capacità calorifica dell'aqua, anzichè minore di quella del ghiaccio, ne è di gran lunga superiore.

Si dovette dunque ricorrere ad un ordine di idee affatto diffe-

rente per rendersi conto della produzione di calore per attrito. Per produrre il movimento del corpo strofinante sul corpo strofinato, bisogna necessariamente sviluppare, consumare, una certa quantità di lavoro; è appunto questo lavoro che ricompare sotto forma di calore. I due fenomeni sono dunque, non solamente due fatti correlativi, capaci di nascere l'uno dall'altro, ma sono due quantità equivalenti, di cui l'una è la trasformazione dell'altra; da una parte, un lavoro meccanico ordinario può generare, distruggendosi, il movimento molecolare speciale che costituisce il calore; dall'altra, quest'ultimo può trasformarsi in lavoro meccanico ordinario.

Quando un corpo in movimento si ferma, si ha elevamento di temperatura. Ora appunto per mettere in movimento un corpo bisogna far agire una forza per un certo tempo, vale a dire, produrre un lavoro: questo lavoro è rappresentato dal movimento stesso, il quale, per così dire, ne è la forma sensibile.

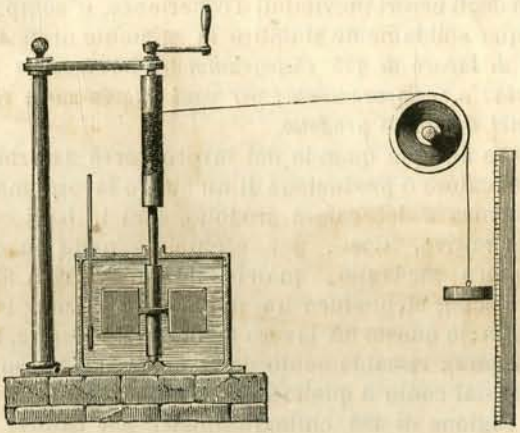


Fig. 333.

Questa elevazione di temperatura sarebbe assai notevole, se il corpo in movimento avesse una gran massa e se avesse, per esempio, una velocità pure assai grande.

Se si immagina, per esempio, che la terra cessi di muoversi nella sua orbita, questo fenomeno, al quale, a prima giunta, non si attribuirebbero conseguenze ben determinate, sarebbe accompagnato da una prodigiosa elevazione di temperatura; essa dovrebbe misurarsi a migliaja di gradi e sarebbe tale da fondere il globo, volatilizzarlo e disseminarne gli elementi nello spazio.

402. Equivalente meccanico del calore. — Dal momento che il lavoro ed il calore si possono trasformare l'uno nell'altro, è naturale che si pensi a cercare qual'è la quantità di calore che bisogna impie-

gare per produrre una determinata quantità di lavoro, e reciprocamente. Joule ha fatto questa determinazione nel modo seguente: Il suo apparecchio consiste (fig. 333) in un albero verticale, sul quale sono infisse delle palette. Questo albero è posto in un calorimetro ad aqua e può esser messo in movimento da un peso, attaccato ad una funicella passante su di una puleggia. Il peso, abbandonato a sè stesso, percorre, sotto l'azione della gravità, un certo spazio, corrispondente ad un determinato lavoro. La quantità di calore sviluppato è data dall'elevamento di temperatura del calorimetro. Joule ha così trovato che una caloria corrisponde al lavoro di 425 chilogrammetri. Gli è appunto questo numero che dicesi *equivalente meccanico del calore.*

Si osservi che, per determinare questo coefficiente, si può ricorrere a fenomeni diversi, sia per la produzione di calore, che pel modo col quale esso si trasforma in forza motrice. Il risultato, tenuto conto degli errori inevitabili d'esperienza, è sempre lo stesso. Si può dunque solidamente stabilire la seguente proposizione: *Ad un consumo di lavoro di* 425 *chilogrammetri corrisponde lo sviluppo di una caloria: e, reciprocamente; per ogni caloria spesa si hanno* 425 *chilogrammetri di lavoro prodotto.*

In ogni caso dunque, quando del lavoro verrà assorbito, si avrà produzione di calore o produzione di un nuovo lavoro, ma la somma del nuovo lavoro e del calore prodotto, sarà in ogni caso uguale al lavoro primitivo. Così, per esempio, nella macchina che serve a coniare medaglie, quando il conio arriva animato da una certa velocità, si produce un doppio fenomeno: impressione sulla medaglia; è questo un lavoro facile da concepire, benchè difficile da valutarsi; riscaldamento della medaglia. Si sommi il lavoro prodotto dal conio a quello rappresentato dal calore prodotto, valutato in ragione di 425 chilogrammetri per caloria, e si avrà una somma uguale al lavoro impiegato per porre in moto il bilanciere.

Quando, nella prova di una piastra di corazza, si tira sulla piastra stessa una palla, può accadere che questa trapassi la piastra; se questa non vien forata, il lavoro meccanico è minore, ma è compensato da una più intensa produzione di calore e la palla si scalda fino al rosso. La trasformazione del calore in lavoro, o reciprocamente, secondo una misura determinata ed *invariabile*, tale è l'essenza di ciò che dicesi la teoria meccanica del calore, teoria che oggigiorno non solleva alcuna seria contraddizione. Eccone alcune applicazioni.

403. Applicazione alla macchina a vapore.— Diconsi in generale macchine termiche le macchine nelle quali la forza motrice è dovuta all'azione del calore; fra queste, la macchina a vapore occupa in-

contestabilmente il primo posto. Essa si compone esenzialmente di un cilindro, nel quale si può muovere uno stantuffo; il vapore arriva alternativamente da una banda e dall'altra dello stantuffo e determina in esso un movimento di va e vieni, capace di venir trasformato in un modo qualunque.

Si può calcolare con grande esattezza la quantità di calore necessaria alla produzione del vapore all'origine della macchina: si può pure calcolare quella che sarebbe necessaria a produrre il vapore allo stato in cui esso si trova all'uscire dell'apparecchio. Per molto tempo si è creduto che queste due quantità fossero eguali: in fatto si trova invece che la prima di queste quantità è maggiore della seconda; si ha dunque distruzione di una certa quantità di calore, ma a suo posto si trovano ed il lavoro effettuato della macchina e quello che consumano gli organi accessori che costituiscono il meccanismo.

404. Applicazione al calore animale. — Lavoisier ha mostrato, pel primo, come gli animali possano venir assimilati ad una sorta di macchine viventi, nelle quali il calore si mantiene per mezzo di diverse reazioni chimiche; combustione del carbonio, dell'idrogeno, ecc.; l'assieme di queste reazioni costituisce il fenomeno della respirazione. Allorquando l'animale è in riposo, si ha equilibrio tra il calore prodotto ed il calore che si sperde per iscambio coll'esterno; ma se esso eseguisce un lavoro qualunque, si deve avere scomparsa di calore. Quest'idea è strana a prima giunta, giacchè l'aumento di calore nell'uomo che lavora è un fatto incontestabile. Si osservi però che, quando lavora, la respirazione si accelera, e, se si tien conto del carbonio bruciato nel caso del lavoro e nel caso del riposo, si trova che, nel primo caso, la stessa quantità di carbonio ha prodotto una minore quantità di calore; ciò che manca è l'equivalente del lavoro prodotto.

Questo fatto venne dimostrato con una curiosa esperienza dovuta al S.r Hirn. Egli ha chiuso un uomo in un calorimetro analogo a quello descritto (fig. 330), cosicchè ha potuto misurare in una volta, il calore sviluppato, e la quantità di acido carbonico esalato. In una prima esperienza l'uomo era in riposo; in una seconda, esso saliva su di una ruota mobile e, per conseguenza, effettuava un lavoro meccanico; orbene, la quantità di acido carbonico esalata nel secondo caso è più grande di quella esalata nel primo, ma essa dà luogo, proporzionatamente, ad una minor quantità di calore. Se ne può dunque concludere che negli animali, la potenza motrice, il movimento muscolare sono, come nelle macchine termiche, la rappresentazione di un fenomeno calorifico.

405. Calore sviluppato nelle combinazioni chimiche. — I principi della teoria meccanica del calore permettono di formarsi un'idea razio-

nale della causa del calore sviluppato nelle combinazioni chimiche. Le molecole dei corpi che si combinano, obbediscono a forze attrattive molecolari; si ha dunque un certo lavoro effettuato, che si ritrova sotto la forma calorifica.

Nel caso di una decomposizione bisogna vincere l'affinità e separare le molecole sottoposte ad attrazioni; è perciò necessario, o di sviluppare un lavoro propriamente detto, o di spendere una equivalente quantità di calore. Gli è poi evidente, come risulta del resto dalle esperienze di Favre e Silbermann, che la quantità di calore che si sviluppa nella formazione di un composto, è perfettamente uguale a quella che si deve impiegare per effettuarne la decomposizione.

406. Calore solare. — La quantità di calore dovuta alla radiazione solare è considerevolissima. Pouillet ha cercato di misurarla per mezzo di un apparecchio detto pireliometro, ed è, dopo molte esperienze, arrivato al seguente risultato: *La quantità di calore mandata annualmente dal sole alla terra, sarebbe capace di fondere, alla superfice di questa, uno strato di ghiaccio dello spessore di* 30 *metri.*

Questa non è che una piccolissima quantità del calore emesso dal sole, giacchè la terra non occupa, evidentemente che, una ben minima parte dello spazio nel quale avviene l'irradiazione: la quantità totale di calore emesso è 2 o 3 miliardi di volte quella che riceve la terra.

Doveva nascere naturalmente la domanda: Qual'è l'origine di questo calore? Qual'è il fenomeno che lo mantiene ad un grado sensibilmente costante, giacchè dai tempi storici non si sono osservate variazioni apprezzabili nella temperatura del globo terrestre? Diverse ipotesi furono emesse in proposito, ma nessuna si sostiene innanzi alla discussione.

La teoria meccanica del calore ne ha suggerita una, che ha qualcosa di più plausibile. In essa si ammette che sulla superfice del sole cadano continuamente delle materie cosmiche (comete, aeroliti); la vasta nebulosità circunsolare, conosciuta col nome di *luce radiale*, sarebbe, in questa ipotesi, un serbatojo di materia, la quale, venendo successivamente a condensarsi alla superfice del sole, manterrebbe, in causa dell'urto che necessariamente avrebbe luogo, la temperatura invariabile di quest'astro. Il S.r William Thomson, l'autore di questa ipotesi, ha stabilito in proposito dei calcoli approssimativi, dai quali risulta che, un'ingrossamento lentissimo del sole, permetterebbe di spiegare la rigenerazione della perdita di calore constatata dai pireliometri. Infatti, secondo il S.r Thomson, lo strato di materia cosmica che sarebbe deposta alla superfice del sole in quattromila anni, non accrescerebbe il diametro apparente dell'astro di $\frac{1}{10}$ di secondo.

CAPITOLO XI.

MACCHINE A VAPORE.

407. Macchine termiche. — Si dà il nome di macchine termiche alle macchine nelle quali si produce forza motrice, spendendo una certa quantità di calore. La più importante fra queste macchine è, senza dubbio la macchina a vapore; appartengono alle macchine termiche anche le macchine ad aria calda, quelle a gas; come si vedrà, le macchine elettromotrici son pure vere macchine di questo genere.

408. Macchine a vapore. — La conoscenza delle proprietà fisiche del vapore d'aqua e l'idea di utilizzarne la forza motrice, risalgono alla fine del diciasettesimo secolo, epoca alla quale si riferiscono gli studi di Torricelli e di Ottone de' Guerik sul peso e sulla pressione dell'aria.

Si devono a Dionigi Papin, nato a Blois nel 1650, morto nel 1710, i primi tentativi di applicazione del vapore come forza motrice. L'apparecchio immaginato da Papin consisteva di un cilindro aperto alla parte superiore, contenente un po' d'aqua alla sua parte inferiore e, sopra questa, uno stantuffo. Scaldando, si riduceva l'aqua in vapore; questo sollevava lo stantuffo; lasciando in seguito raffreddare, il vapore perdeva quasi tutta la sua forza elastica, e lo stantuffo, premuto dall'atmosfera, ridiscendeva. Si otteneva così un movimento di va e vieni, che può, come lo fa osservare Papin stesso, venir trasformato in movimento di rotazione, e quindi essere applicato ad un lavoro meccanico qualunque.

La descrizione della macchina di Papin è consegnata in una raccolta scientifica di Lipsia (*Acta eruditorum*), portante la data del 1690.

Nel 1715 Newcomen costruì, sotto il nome di *macchina atmosferica*, la prima macchina a vapore che abbia realmente funzionato nell'industria. Essa, in essenza, è assai simile a quella di Papin, però con notevoli migliorie. Un delle più importanti fra queste è la separazione della caldaja, dove si forma il vapore, dal cilindro. Di più, per raffreddare il vapore e produrre, colla distruzione della forza elastica di questo, il moto discendente, Newcomen ideò di far arrivare dell'aqua fredda alla parte inferiore del cilindro; in questo modo il raffreddamento è, si può dire, istantaneo, ed il movimento di va e vieni dello stantuffo può rendersi abbastanza rapido, così da poterlo applicare industrialmente. La macchina at-

mosferica diffatti si diffuse, e venne sopratutto impiegata a muovere le pompe destinate all'esaurimento delle miniere.

Prima dell'invenzione della macchina atmosferica, verso il 1698, il S.r Savery aveva costrutto una macchina, nella quale la forza elastica del vapore era applicata ad elevare dell'aqua. Essa si componeva esenzialmente di una caldaja in comunicazione col tubo di ascenzione.

Quando la forza elastica del vapore ha preso un sufficiente accrescimento, l'aqua vien spinta nel tubo, e può così arrivare ad una altezza tanto maggiore, quanto più elevata è la temperatura in caldaja. In verità però questa non è una macchina motrice, è una operazione particolare, realizzata dall'azione del vapore, mentre, invece, il meccanismo di Papin, immaginato d'altronde anteriormente, costituisce una fonte di movimento, applicabile a qualunque sorta di operazioni (1).

Watt, nato a Greenock (Scozia) nel 1736, morto nel 1819, che ha portato la macchina a vapore ad un sì alto grado di perfezione, ha esordito con un perfezionamento importante della macchina di Newcomen. La condensazione del vapore eseguita nel cilindro presentava molti inconvenienti, specialmente quello di raffreddare le pareti del cilindro stesso e di dar luogo così ad una perdita considerevole di calore. Watt trovò che la condensazione si poteva fare in un vaso separato, comunicante solamente per mezzo di un tubo col cilindro; a questo vaso egli diede il nome di *condensatore*. A questo primo perfezionamento, che realizzò una ingente economia di combustibile, Watt ne aggiunse un secondo non meno importante: consiste esso nel sostituire la pressione atmosferica, che nella macchina di Newcomen è quella che fa discendere lo stantuffo, coll'azione del vapore stesso. Il movimento ascendente era prodotto da un contrappeso, il di cui effetto si faceva sentire quando il vapore, pel giuoco di opportuno meccanismo, si spandeva sulle due faccie dello stantuffo, nel momento in cui questo aveva raggiunta il limite inferiore della sua corsa.

In grazia di questi due perfezionamenti e di un miglioramento notevole di tutte le parti accessorie, la macchina di Watt si sostituì quasi completamente alla macchina atmosferica. Questa macchina di Watt è detta a *semplice effetto*, perchè il vapore non pro-

(1) Fra gli studiosi che si dedicarono alla ricerca dell'impiego del vapore come forza motrice, si può anche citare l'italiano Branca, il quale, in una sua opera (1629), descrive un apparecchio nel quale il vapore, uscente da un'orificio praticato in una caldaja, fa girare una ruota a palette; il moto di rotazione così prodotto si intende poi applicato a speciali scopi industriali. Il principio del Branca, però, non può venir utilmente applicato.

NOTA DEL TRADUTTORE.

duce il movimento dello stantuffo che in un solo senso. Questa macchina, della quale esistono ancora dei modelli, perfezionati però, nella Cornovaglia, si presta difficilmente alle trasformazioni di movimento. Watt non tardò a perfezionare l'apparecchio, facendo agire il vapore sullo stantuffo, tanto nella fase di ascesa che in quella di discesa.

È questo il principio della macchina a doppio effetto, macchina la quale venne portata dal suo inventore ad un ammirabile grado di perfezione e che oggigiorno è divenuta la macchina motrice, si può dire, universale. Si aggiunga che dopo Watt non vennero apportati, salvo l'espansione di cui si parlerà in seguito, che miglio-

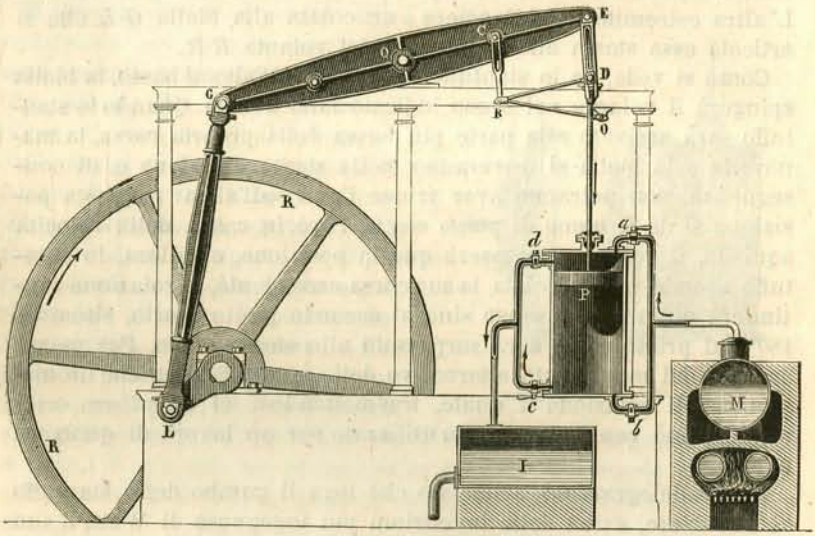


Fig. 334.

ramenti di dettaglio e che non riguardano punto i principi esenziali di costruzione. Ecco qui in seguito la descrizione della macchina Watt, descrizione dalla quale risulterà facile l'intelligenza delle diverse modificazioni a cui venne in seguito sottoposta la macchina a vapore.

409. Principio della macchina a doppio effetto. — Sia *M* una caldaja a vapore (fig. 334), comunicante, per mezzo dei robinetti *a* e *b*, colla parte superiore e colla inferiore del cilindro; due altri robinetti *c* e *d* stabiliscono la comunicazione di questo col condensatore *I*. Se si aprono i robinetti *a* e *c*, essendo chiusi i robinetti *b* e *d*, il vapore arriverà al disopra dello stantuffo *P*, mentre, quello introdotto al disotto nella fase precedente, trovandosi in comunicazione col

condensatore, vi si condenserà più o meno completamente e perderà così la sua forza elastica; lo stantuffo scenderà dunque alla parte inferiore del cilindro. Si aprano allora i due robinetti *b* e *d*, e si chiudano gli altri due; il vapore, condensandosi alla parte superiore del cilindro, ed agendo, d'altra parte, al disotto dello stantuffo, ne determinerà il moto ascendente: dopo di che lo si potrà far ridiscendere, e così di seguito.

Come si vede, manovrando convenientemente i robinetti *a*, *b*, *c*, *d* si indurrà nello stantuffo un movimento di va e vieni, che può facilmente venir trasformato in moto di rotazione. A questo scopo, l'asta dello stantuffo è collegata ad una delle estremità del bilanciere *E G*, coll'intermezzo del parallelogrammo articolato *C B D E*. L'altra estremità del bilanciere è articolata alla biella *G L*, che si articola essa stessa alla manovella del volante *R R*.

Come si vede, se lo stantuffo si muove dall'alto al basso, la biella spingerà il volante nel senso indicato dalla freccia. Quando lo stantuffo sarà arrivato alla parte più bassa della propria corsa, la manovella e la biella si troveranno nella stessa direzione e, di conseguenza, non potranno aver azione l'una sull'altra: a questa posizione si dà il nome di *punto morto*. Però, in causa della velocità aquisita, il volante sorpasserà questa posizione, ed allora, lo stantuffo avendo incominciata la sua corsa ascendente, la rotazione continuerà nello stesso senso sino al secondo punto morto, situato a 180° dal primo e che sarà sorpassato allo stesso modo. Per mezzo dunque del movimento alternativo dello stantuffo si ottiene un movimento di rotazione il quale, trasmettendosi ad un albero orizzontale, può venire in seguito utilizzato per un lavoro di qualsiasi natura.

Il parallelogrammo articolato che lega il gambo dello stantuffo al bilanciere, è una delle invenzioni più ingegnose di Watt; il suo scopo è facile da intendersi. Nel movimento della macchina, l'estremità *E* del bilanciere descrive un'arco di cerchio, mentre l'estremità *D* dell'asta dello stantuffo descrive una linea retta: gli è dunque impossibile di collegare direttamente l'uno all'altro questi due punti. Il punto *E* è collegato al punto *D* per mezzo della piccola biella *E D*; le altre due bielle *B D* e *B C* costituiscono, colla parte *E D* del bilanciere, un parallelogrammo *articolato*; vale a dire che gli angoli ai quattro vertici possono variare a seconda delle posizioni del bilanciere. D'altra parte, il vertice *B* è articolato all'estremità della leva *B O*, mobile intorno al punto fisso *O*. L'effetto di questa disposizione è il seguente. Se a partire dalla posizione orizzontale del bilanciere, questo vien ad innalzarsi, il punto *D* sarà tirato verso sinistra dal bilanciere, e verso destra dall'azione della biella *B O*, la quale, per questa circostanza, vien detta qualche

volta, *controbilanciere*. Si capisce come queste due azioni opposte possano compensarsi quasi esattamente e come, perciò, l'estremità *D* segua naturalmente, e senza sforzi laterali, la direzione rettilinea.

410. Distribuzione del vapore. — Onde meglio far intendere il gioco della macchina, si è supposto che si aprano e si chiudano alternativamente i robinetti *a*, *b*, *c*, *d*; infatto, invece, il vapore si porta alternativamente agli estremi del cilindro ed al condensatore, per mezzo di un meccanismo automatico. Si usa a tale scopo un organo detto *cassetto*, che può variare di molto nelle sue disposizioni; qui si descrive solo il *cassetto a conchiglia*, che è uno dei più comunemente usati e dei più semplici.

Il vapore, invece di portarsi direttamente nel cilindro, arriva in una cassetta a questo precedente (fig. 335 e 336) e che prende il nome di *cassetta di distribuzione*. Sulla faccia di questa, opposta alla faccia che riceve il tubo di ammissione, si trovano tre aperture, una sopra l'altra. L'apertura superiore comunica colla parte superiore del cilindro; l'apertura inferiore colla parte inferiore, e l'apertura intermediaria col condotto *o*, che comunica esso stesso col condensatore. Su queste aperture si muove un organo, avente la forma di un prisma rettangolare scavato, coi lembi perfettamente piani, e di tali dimensioni da coprire ad una volta due delle tre aperture.

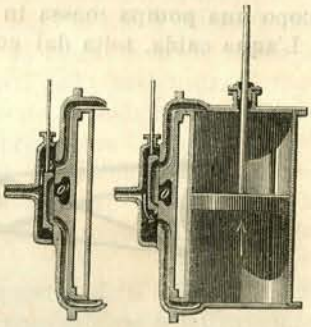


Fig. 335. Fig. 336.

Nella figura 336 il cassetto è supposto alla parte superiore della sua corsa; il vapore arriva al disotto dello stantuffo e lo spinge nel senso indicato dalla freccia; il vapore che si trova al disopra dello stantuffo vien, per mezzo del cassetto, posto in comunicazione col condensatore. Nella figura 335 ha luogo appunto il contrario; il vapore arriva al disopra dello stantuffo, e quello che si trova al disotto è, per mezzo del cassetto, posto in comunicazione col condensatore.

411. Movimento del cassetto. — Si tratta dunque di ottenere automaticamente il movimento alternativo del cassetto. A tale scopo, sull'albero della macchina è collocato un pezzo *e* (fig. 337) a profilo circolare, ma attraversato eccentricamente dall'albero stesso; da qui il nome di *eccentrico circolare*, che si dà a questo organo. L'eccentrico è abbracciato da un collare in metallo, che può girare

liberamente al suo contorno e che fa corpo con una specie di gran triangolo metallico *T*. Il vertice di questo triangolo si uncina allo estremo di una leva a gomito *a b c*, la quale riceve così un movimento di oscillazione intorno al punto *b*. In seguito a questo movimento, l'asta *d* si innalza e si abbassa successivamente, insieme al cassetto a cui essa è unita.

412. Pompa di esaurimento del condensatore. — Il condensatore è un cilindro nel quale si fa arrivare un getto continuo di aqua fredda, la di cui quantità è regolata a seconda dei casi. Mano mano che il vapore si condensa, esso scalda l'aqua e, contemporaneamente, l'aria, che trovasi sempre sciolta nell' aqua, si sviluppa in causa della debole pressione esistente nell'apparecchio; è dunque necessario di togliere l' aria e l' aqua dal condensatore; serve a questo scopo una pompa messa in movimento dal bilanciere.

L'aqua calda, tolta dal condensatore, vien mandata in un ser-

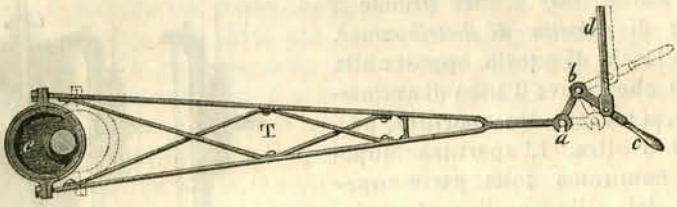


Fig. 337.

batoio, dal quale, per mezzo di una seconda pompa, mossa pure dal bilanciere, vien mandata nella caldaja. Finalmente, una terza pompa, in generale più potente delle altre due, eleva l' aqua da una sorgente o da un pozzo e la versa in un tinozzo, dal quale poi passa nel condensatore.

413. Regolatore a forza centrifuga. — Questo apparecchio, conosciuto prima di Watt, ma da lui applicato alla macchina a vapore, è destinato a regolare l' ammissione del vapore, così che la velocità della macchina rimanga sensibilmente costante, ad onta delle variazioni che possono esser presentate dalla resistenza da vincersi.

Questo regolatore è formato da un'asse verticale *y* (fig. 338), il quale riceve dalla macchina un moto di rotazione. Alla parte superiore sono articolate due aste $\alpha\ \beta$, $\alpha'\ \beta'$, terminate da masse pesanti *Z*, *Z'*. Due altre astre $\beta\ \varepsilon$, $\beta'\ \varepsilon'$, articolate colle prime, formano con queste una losanga, la di cui parte inferiore è fissata ad un manicotto *m*, che abbraccia l'albero di rotazione. Quando l'apparecchio è in riposo, i lati della losanga sono al massimo possibile vicini alla verticale; ma quando l'apparecchio è in movimento, in causa della forza centrifuga, le sfere si allontanano tanto più, quanto più grande è la velocità di rotazione. Contemporaneamente

il manicotto si solleva, e, per mezzo di un conveniente sistema di leve, agisce sulla valvola di ammissione, posta nel tubo che conduce il vapore, in modo da ridurre l'ammissione a misura che la velocità va crescendo.

414. Utilità del volante. — Dal modo col quale, come si è detto, si trasmette il movimento dello stantuffo all'albero della macchina, è facile lo scorgere come la forza motrice effettiva, provi delle variazioni notevoli. Così, per esempio, nell'azione della biella sulla manovella, l'effetto è massimo quando questi due organi sono perpendicolari l'uno all'altro, è pressochè nulla ai punti morti. A queste variazioni d'azione devono necessariamente corrispondere delle variazioni di velocità. Altre cause, del resto, contribuiscono allo stesso risultato e specialmente le diseguaglianze della resistenza da vincersi. Così, per esempio, se si trattasse di una ruota a bocciuoli sollevante un pilone, al momento in cui il pilone cade, la resistenza principale è soppressa e la forza motrice tende a produrre un'accelerazione in tutte le parti della macchina. Al momento in cui il pilone vien di nuovo sollevato, la velocità deve diminuire d'un tratto, e così di seguito. Senza presentare un carattere così distinto, un tal fatto si produce in tutte le macchine. Queste variazioni brusche presentano gravi inconvenienti; esse agiscono a guisa di urti ripetuti, i quali hanno per effetto quello di alterare la solidità della macchina.

Il volante è destinato a prevenire questi effetti distruttori. È d'esso una gran ruota massiccia, di un peso sempre relativamente considerevole, che riceve dalla macchina un movimento di rotazione. Se la forza motrice viene ad aumentare, tutti i punti tendono ad assumere volocità sempre maggiori; ma gli è chiaro che l'accrescimento di massa occasionato dal volante, diminuisce la variazione particolare di ciascuno di essi. Inversamente; se la resistenza diventa per un istante preponderante, la velocità diminuisce in tutte le parti, ed a questa diminuzione corrisponde un lavoro effettuato; è ancora chiaro che quanto maggiore è il numero di punti che cedono per tal modo la loro velocità, tanto meno sentita sarà la comune variazione di velocità. Si può dunque considerare il volante come una specie di serbatoio di velocità, o, ciò che è lo stesso, di lavoro, dove questo s'immagazzina, quando la forza motrice è più grande di quella richiesta dalla resistenza da vincersi. Quando invece la forza motrice riesce, al momento, insufficiente, è il volante che fornisce il di più necessario a vincere la resistenza. In qualunque caso, se le dimensioni del volante sono sufficienti, le variazioni di velocità corrispondenti alle oscillazioni della forza motrice e della resistenza, saranno piccole rispetto alla velocità media, ed il movimento generale della mac-

china riescirà sufficientemente regolare. Ordinariamente si fissano le dimensioni del volante in modo, che le variazioni massime di velocità non superino $^1/_{15}$ della velocità media.

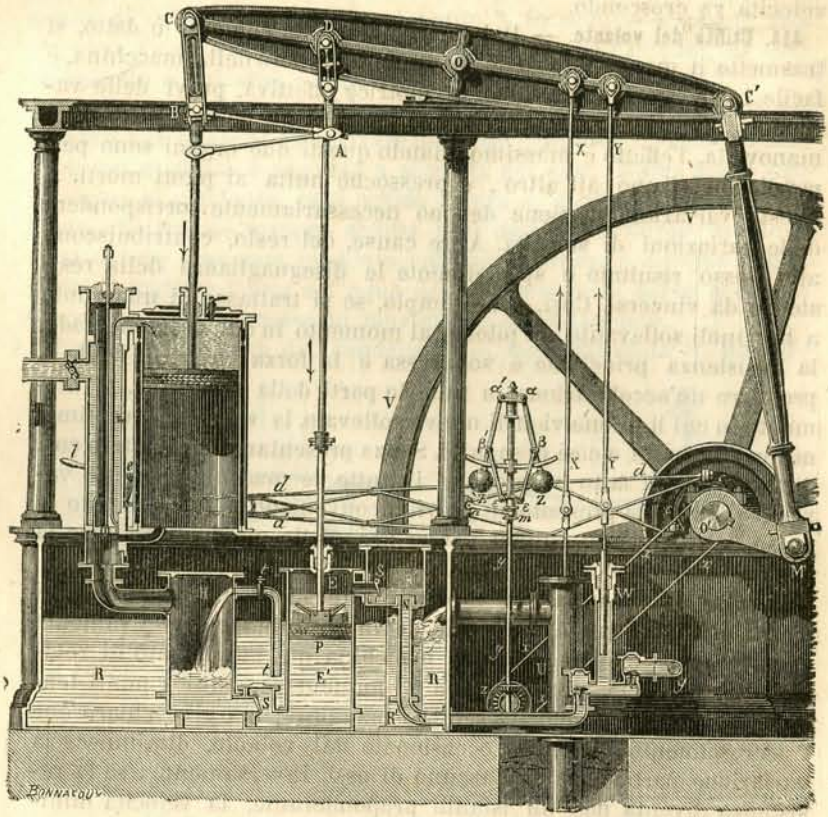


Fig. 338.

ABCD, parallelogrammo articolato — *CC'*, bilanciere, mobile intorno al punto *O* — *C' M*, biella di trasmissione — *O' M*, manovella, fissata all'albero del volante — *V V*, volante — *c*, eccentrico circolare che, per l'intermezzo del triangolo *d d*, mette in movimento la leva *e l*, che manovra il cassetto — *x x*, fune senza fine che passa su di una puleggia fissata sull' asse *O'*, e su di un' altra puleggia *z*, il cui moto si trasmette all'asse *y* del regolatore a forza centrifuga, per mezzo di un ingranaggio ad angolo — *a m*, asta condotta dal manicotto *m*, il movimento della quale si trasmette, per mezzo di leve, al registro d'ammissione — *H*, condensatore — *R R*, bigoncia contenente l' aqua fredda che circonda il condensatore — *t*, tubo pel quale l'aqua della bigoncia *R*, premuta dall'atmosfera, affluisce nel condensatore — *E E'* cilindro della pompa d'esaurimento del condensatore — *P*, stantuffo — *S*, valvola — *X*, asta della pompa *U*, che alimenta la bigoncia *R R* — *R'*, bigoncia nella quale si versa l'aqua estratta dal condensatore — *S'*, valvola — *Y*, asta della pompa d'alimentazione *W*, che prende l'aqua in *R'* e la spinge in caldaja.

415. Descrizione generale della macchina Watt. — Le precedenti spiegazioni permetteranno al lettore di intendere la disposizione generale della macchina Watt, rappresentata dalla fig. 338. La leggenda sottoposta alla figura stessa, fa conoscere il nome dei principali organi dell'apparecchio. Questi organi differiscono un po', è vero, da un modello all'altro, ma il loro assieme è sempre analogo. Basta dunque l'aggiungere alla figura la leggenda descrittiva, solo si fa osservare che il cassetto vi ha una disposizione differente da quella descritta; non v'ha però alcun interesse per occuparsene.

416. Espansione del vapore. — Tra le modificazioni che furono introdotte nella macchina di Watt, va posta in prima linea l'espansione.

Quando lo stantuffo ha percorsa una parte della sua corsa, si cessa dall'ammettere vapore nel cilindro; lo stantuffo vien allora spinto dall'espansione del vapore primitivamente introdotto, la di cui forza elastica va, per tal modo, gradatamente diminuendo. Si economizza così evidentemente una certa quantità di vapore e si ha inoltre il vantaggio di evitare gli urti che avvengono alla fine d'ogni corsa dello stantuffo, urti i quali deteriorano la macchina ed occasionano sempre una perdita di forza motrice.

Si fa cominciare l'espansione ad un momento variabile; qualche volta alla metà, qualche volta al quarto od al quinto della corsa dello stantuffo. È facile l'intendere che, quanto più presto si incomincia la fase d'espansione, tanto maggiore è l'economia, giacchè, durante tutta questa fase, il lavoro si compie senza consumare nuovo vapore; ma d'altra parte però, bisogna osservare che la forza elastica del vapore diminuisce mano mano che esso si espande; è necessario di far in modo che si abbia sempre una forza sufficiente a vincere la resistenza e da non far risentire variazioni di velocità troppo grandi alla macchina.

417. Eccentrico per l'espansione. — Onde l'espansione possa operarsi, bisogna necessariamente modificare il movimento del cassetto in modo tale che, operandosi sempre la condensazione da una parte dello stantuffo, dall'altra cessi l'introduzione del vapore; si devono dunque avere dei momenti d'arresto del cassetto. Si giunge a produrre queste modificazioni, facendo manovrare l'asta del cassetto da un eccentrico a curvatura discontinua: onde il cassetto stia in riposo nei voluti momenti, basta che la porzione di curva dell'eccentrico, corrispondente a questi momenti, sia un arco di cerchio concentrico all'asse di rotazione.

Siccome l'eccentrico circolare è di più facile montatura e dà maggiore conservabilità, così se ne fa spesso uso per ottenere l'espansione. A questo scopo il signor Clapeyron ha immaginato di fissare sui lembi $b\,c$, $b'\,c'$ del cassetto due lamine $a\,d$, $a'\,d'$, la di cui

larghezza sorpassa di molto quella delle aperture di ammissione *L L'* (fig. 339). Di questa guisa, una delle aperture può rimaner chiusa durante un tempo più o meno lungo; cessa allora l'ammissione del vapore e questo non agisce in seguito che per espansione. Si può del resto rendere variabile l'espansione per mezzo della *coulisse* di Stephenson, di cui si terrà parola più innanzi, trattando delle locomotive.

418. Sistemi diversi di macchine fisse. — Le precedenti spiegazioni permettono l'intelligenza dei diversi tipi di macchine a vapore. Questi apparecchi possono venir classificati, sia considerando la forza elastica del vapore, od il modo di agire di questo, o la disposizione del meccanismo, od il modo con cui si trasmette il movimento dello stantuffo. Sotto il punto di vista della forza elastica del vapore, le macchine possono venir divise in tre categorie:

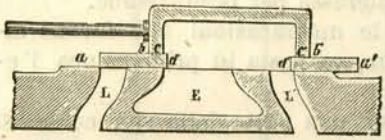


Fig. 339.

1.° *Macchine a bassa pressione* nelle quali la forza elastica del vapore non si eleva al disopra di un'atmosfera e mezza;

2.° *Macchine a media pressione;* forza elastica da 1 $^1/_2$ a 4 atmosfere;

3.° *Macchine al alta pressione;* forza elastica da 4 atmosfere in più.

Nelle macchine a bassa pressione, la debole tensione del vapore difende dai pericoli d'esplosione; d'altra parte i diversi organi son meno soggetti a deterioramento. Questi vantaggi però sono compensati da inconvenienti gravi. La pressione essendo debole, si è obbligati di dare al cilindro una maggiore larghezza, per ottenere una data forza. A questa maggior dimensione del cilindro corrisponde una maggior dimensione di tutti gli organi, di modo che, la macchina diventa pesante ed occupa un grande spazio. Essa presenta inoltre una grande superfice irradiante, per la quale si disperde una quantità notevole di calore. Di più, in questa macchine, l'espansione non può essere usata che in modo assai ristretto e, finalmente, la necessità della condensazione esige l'impiego di una gran massa d'aqua.

Questi inconvenienti non si incontrano nelle macchine ad alta ed a media pressione. Il loro volume è assai minore; esse permettono di applicare l'espansione e, di sopprimere la condensazione, lasciando sfuggire il vapore all'aria. Ma, d'altra parte, l'usura dei pezzi è assai più rapida, le avarie sono più frequenti; perciò le alte pressioni non vengono concesse per le macchine di navigazione, nelle quali le probabilità di avarie sono aumentate dall'azione dell'u-

midità, dell'aqua salsa, delle correnti galvaniche, del rollio, ecc.; è questo il motivo del volume veramente enorme che presentano le potenti macchine di questo genere. Nelle macchine fisse e nelle locomotive, invece, si usano quasi esclusivamente le alte pressioni; ciò nonpertanto non si sorpassa generalmente il limite di 6 atmosfere.

Sotto il punto di vista del modo di azione del vapore, la macchina può essere, con o senza condensazione, con o senza espansione. Teoricamente parlando, la condensazione è essenzialmente vantaggiosa, giacchè essa aumenta la caduta di calore alla quale, secondo la teoria meccanica del calore (401), è proporzionale la quantità di lavoro prodotto. Di più, il calore sviluppato nella condensazione, si ritrova nell'aqua, che generalmente si impiega per l'alimentazione della caldaja, ciò che rappresenta un evidente vantaggio. Ma nella pratica, la necessità di procurarsi l'aqua destinata all'alimentazione del condensatore, annulla quasi completamente i vantaggi derivanti alla condensazione; ed infatti le macchine a condensazione sono poco sparse.

In quanto alla espansione essa è di evidente vantaggio e basta un semplice ragionamento per farlo intendere. Si supponga che l'espansione incominci a metà della corsa; non si consumerà che la metà della quantità di vapore necessaria pel caso della piena pressione e, di conseguenza non si consumerà che la metà combustibile. Siccome lo stantuffo compie, ciò nonostante, la sua corsa, il lavoro prodotto è maggiore di quello che verrebbe prodotto a piena pressione dal vapore stato ammesso. Il lavoro prodotto diminuisce dunque in rapporto minore di quello del consumo, ed è appunto in ciò che consiste il vantaggio della espansione.

419. Locomobili — Sotto il nome di locomobili si designano ordinariamente delle macchine, ordinariamente a cilindro orizzontale, portate da ruote, così da poterle trasportare nei luoghi dove occorre la forza motrice.

Queste macchine, a prima giunta, assomigliano alle locomotive, ciò che devesi al fatto che esse pure sono a focolare interno ed a caldajà tubolare, che esse funzionano senza condensazione e presentano alla parte anteriore una cassa sormontata da un camino, dal quale sfuggono i prodotti della combustione. Fuori queste considerazioni, le locomobili non differiscono invece esenzialmente dalle macchine fisse; l'impiego di queste utilissime macchine va sempre più generalizzandosi nei lavori pubblici e privati ed anche nei lavori agricoli (1).

(1) Nella piccola industria sono ora molto in uso le macchine *semifisse*, le quali sono macchine trasportabili, che esenzialmente non differiscono dalle

420. Caldaje. — Le caldaje più in uso oggigiorno nelle macchine fisse sono le caldaje dette a bollitori. Constano esse di un corpo cilindrico *A*, terminato da due emisferi e comunicante con due tubi bollitori (fig. 340).

I tubi bollitori *B*, *B* sono di diametro assai più piccolo di quello della caldaja ed hanno la stessa lunghezza di questa; comunicano colla caldaja per mezzo di due tubi *d*, *d*, detti comunicazioni.

L'intervallo tra i due bollitori e quello tra le comunicazioni, nel senso longitudinale, è occupato da un tramezzo; queste disposizioni hanno per oggetto di moltiplicare, quanto più è possibile, i punti di contatto dei prodotti della combustione colla caldaja; infatti, la fiamma circola, dapprima sotto i bollitori, dalla parte anteriore alla posteriore, poi ritorna, fra le comunicazioni, alla parte

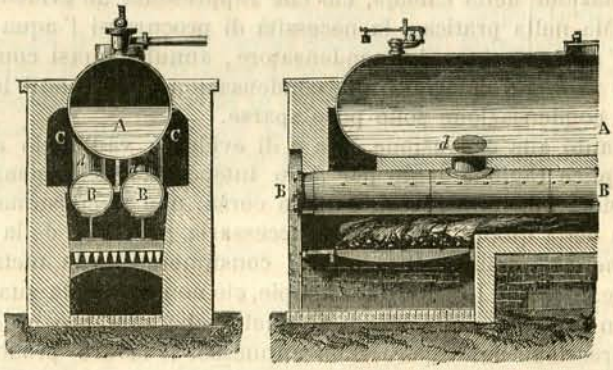


Fig. 340.

anteriore, e finalmente si porta di nuovo alla parte posteriore nei condotti *C*, *C*, e lambe i fianchi della caldaja; di là sfugge nel camino.

Nella caldaja *A* si scorge dove arriva il livello dell' aqua; la capacità relativa della parte occupata dall'aqua e dal vapore, varia secondo i casi, ma sempre in modo che il vapore arrivi il più possibilmente *secco* nel cilindro, vale a dire che non trascini con sè delle goccioline liquide. Prima che le caldaje possano venir impiegate nell'industria, devono essere provate e sottoposte ad una pressione assai superiore a quella che esse devono sopportare in servizio. Epperò, lo spessore dato alle loro pareti, è pur esso oggetto di uno speciale regolamento amministrativo.

locomobili; sono montate su di uno zoccolo, invece che su di un carro; l'asse della caldaja e quello del cilindro vi sono disposti verticalmente. Le locomobili sono ora più specialmente adoperate pei lavori agricoli.

NOTA DEL TRADUTTORE.

421. Caldaje a focolare interno. — Quando occorre di dover diminuire il peso della caldaja, e conservare, ciò non ostante, una superfice di riscaldamento notevole, come accade pei battelli a vapore, nelle locomobili, si colloca il focolare nel seno stesso della caldaja, in modo che esso sia circondato da ogni parte dall'aqua.

Per la navigazione si adottano generalmente delle caldaje tubolari analoghe a quelle delle locomotive La fiamma ed i prodotti della combustione passano dal focolajo, situato alla parte anteriore della caldaja, in due larghi tubi, che li conducono alla parte posteriore, in una cavità circondata d'aqua da tutte le parti; là essi si ripiegano e ritornano, per una serie di tubi, che attraversano la caldaja da parte a parte, al disopra del focolajo, dove si trova il camino, pel quale sfuggono.

422. Esplosione delle caldaje. Apparecchi di sicurezza. — Ad onta delle prove alle quali le caldaje vengono sottoposte prima di porle in servizio, accade ancora troppo spesso che, o sotto l'azione di una troppo grande pressione od in seguito ad un'alterazione della loro intima costituzione, esse esplodono, occasionando gravi disastri. Tali esplosioni possono provenire da un soprariscaldamento progressivo dell'aqua, causato dalla negligenza del fochista: il vapore assume progressivamente, per tal causa, una forza elastica superiore a quella che corrisponde alla resistenza delle pareti, ed allora queste si spaccano. Questo soprariscaldamento ha luogo assai raramente, giacchè la pressione è continuamente indicata da istrumenti diversi; d'altronde, se anche avesse luogo, le esplosioni verrebbero, in generale, prevenute dagli apparecchi di sicurezza. Ecco quali sono i diversi apparecchi usati, sia per indicare la pressione del vapore, sia per dargli uno sfogo, quando la sua pressione fosse troppo elevata.

1.° *Termomanometro.* — La pressione del vapore essendo legata alla temperatura alla quale essa si produce, basta osservare quest'ultima. Si usa a tale scopo un termometro la di cui scala si estende fino ai 200°. Onde preservare il serbatojo dalle deformazioni o corrosioni per parte dell'aqua e del vapore, lo si chiude in un tubo di ferro, chiuso al basso e fissato alla parte superiore ad un'apertura della caldaja: lo spazio circostante al termometro vien riempito con limatura di rame. Sulla scala dell'apparecchio si scrive, accanto alla temperatura, la corrispondente pressione del vapore: di qui il nome di *termomanometro.*

2.° *Manometro.* — I manometri danno direttamente la pressione del vapore. Si fa uso tanto dei manometri a mercurio, ad aria libera o compressa, come del manometro metallico di Bourdon Di questi istrumenti venne di già data, a suo luogo, la descrizione.

3.° *Valvola di sicurezza.* — La valvola di sicurezza, rappresentata

nella figura 340, è formata da un pezzo metallico, avente la forma di un cono tronco, o di un semplice disco, che chiude ermeticamente un'apertura, posta su di una tubulatura della caldaja. Alla parte superiore si trova una punta sulla quale si appoggia una leva mobile e caricata da un peso. La grandezza del peso e la lunghezza della leva sono calcolate in modo che la pressione esercitata sulla valvola, al momento in cui questa tende ad aprirsi, sia appunto quella che il vapore non deve sorpassare. Se dunque accadesse un soprariscaldamento, la valvola si aprirebbe e darebbe sfogo al vapore.

Nelle macchine mobili, le valvole, invece di esser premute da un peso, lo sono da una molla, della quale si può far variare la tensione per mezzo di una chiave a vite.

Le valvole di sicurezza possono prevenire le esplosioni dovute ad un graduale soprariscaldamento; esse però sono completamente inefficaci in altre circostanze. Può infatti accadere che ad un tratto, per circostanze difficili ad apprezzarsi in modo sicuro, si produca una quantità considerevole di vapore; questo, agendo bruscamente sulle pareti, ne provoca la rottura, senza che la valvola di sicurezza si apra, od anche, che il manometro abbia il tempo di accusare un aumento di pressione.

Molte cause possono provocare l'istantanea produzione di una grande quantità di vapore. Se, per esempio, il livello dell'aqua si abbassa di troppo in caldaja, le pareti nude possono trovarsi esposte all'azione diretta del fuoco, e scaldarsi assai al di là della temperatura che l'aqua deve possedere; cosichè. quando questa arriva in caldaja e si trova in contatto col metallo a temperatura assai elevata, si ha una brusca produzione di vapore, che può determinare l'esplosione.

È dunque molto importante di vegliare affinchè il livello dell'aqua non discenda al disotto di un certo limite, dipendente dalla forma e dalla capacità della caldaja e del fornello. Nelle caldaje a bollitori l'aqua deve elevarsi di una piccola quantità al disopra del centro della caldaja.

A raggiungere uno scopo tanto importante si fa uso di diversi mezzi:

1.° Nella parete della caldaja si trovano due robinetti, uno nella regione che deve esser occupata dal vapore, l'altro in quello che corrisponde all'aqua, ma però a piccola distanza l'uno dall'altro; se si aprono ad un momento qualunque, del vapore deve sfuggire dal primo; dell'aqua dal secondo.

2.° *Indicatore di livello.* — È un tubo di cristallo, montato alle sue estremità a due tubulature, corrispondenti, l'una colla parte superiore, l'altra colla parte inferiore della caldaja; naturalmente il li-

vello nella caldaja e nel tubo dev'essere lo stesso, ed in questo modo è, per così dire, sempre sotto gli occhi del fochista. Ciò non pertanto; in questo apparecchio si producono delle oscillazioni abbastanza significanti, specialmente nelle macchine mobili, le quali oscillazioni nuocono all'esattezza delle indicazioni. Qualche volta accade anche la rottura del tubo; in questo caso il fochista chiude le comunicazioni colla caldaja, operazione che si può eseguire prontamente per mezzo di una trasmissione assai semplice, e sostituisce un tubo di ricambio a quello che si è rotto.

423. Indicatore magnetico. — Indipendentemente da questi due mezzi, il di cui uso è prescritto, furono immaginati diversi apparecchi, tra questi uno dei più sicuri, dei più semplici, dei più usati, è l'indicatore magnetico. È formato da un galleggiante, la di cui asta sorte dalla caldaja e porta una calamita a ferro di cavallo, che si può muovere in una cassetta di rame. Sulla parete esterna di questa si trova un piccolo indice di acciajo, che segue tutti i movimenti della calamita, e che fa così conoscere, a qualunque istante, il livello in caldaja. Quando questo scende sotto un certo limite, la parte ricurva della calamita agisce sopra una leva e determina l'apertura di una valvola, posta alla parte superiore della scatola. Il vapore sfugge e passa in un fischietto d'allarme.

424. La istantanea vaporizzazione dell'aqua può esser provocata dalle incrostazioni che sempre si producono sulle pareti, causa la impurità dell'aqua di cui si fa uso. Queste incrostazioni, essendo assai cattive conduttrici del calore, permettono alle pareti di scaldarsi fortemente; quando, per lo screpolarsi delle incrostazioni stesse, l'aqua viene in contatto colle pareti, si ha una vaporizzazione istantanea.

Si prevengono le incrostazioni alimentando la caldaja, quando è possibile, con aqua distillata; oppure ponendo nell'aqua della fecola di patate o dell'argilla fina, che impediscono l'aggregarsi delle materie incrostanti.

Sul mare, l'aqua contenendo una grande proporzione di sostanze saline, si fa uso, in generale, di due caldaje gemelle, che si fanno alternativamente funzionare e ripulire.

Tra le cause di esplosione si può anche citare, per le caldaje a bollitori, l'insufficiente diametro delle comunicazioni. In questo caso può accadere che il vapore che si forma, non venga immediatamente sostituito dall'aqua, e quindi i bollitori, in contatto col fuoco, si abbiano a soprariscaldare.

Infine, una causa fisica, la di cui influenza non venne che recentemente conosciuta, può pure avere una grande importanza. Si è che l'aqua, quando venga privata d'aria, bolle meno facilmente e, ad una temperatura abbastanza alta, si riduce bruscamente in

vapore con una vera esplosione. Qualcosa di analogo deve aver luogo quando la macchina a vapore cessi dal funzionare per qualche tempo; l'aqua della caldaja, non rinnovata, deve essersi privata d'aria; la vaporizzazione ha luogo lentamente, e, se si attiva il fuoco, può aver luogo l'esplosione. È dunque conveniente di far funzionare la pompa di alimentazione, anche allorquando la macchina è ferma, allo scopo di introdurre costantemente un po'd'aria nella caldaja.

425. Alimentazione delle caldaje. — Injettore Giffard. — L'alimentazione delle caldaje si fa ordinariamente per mezzo di pompe mosse dalla macchina stessa. Da qualche anno si fa uso di un apparecchio as-

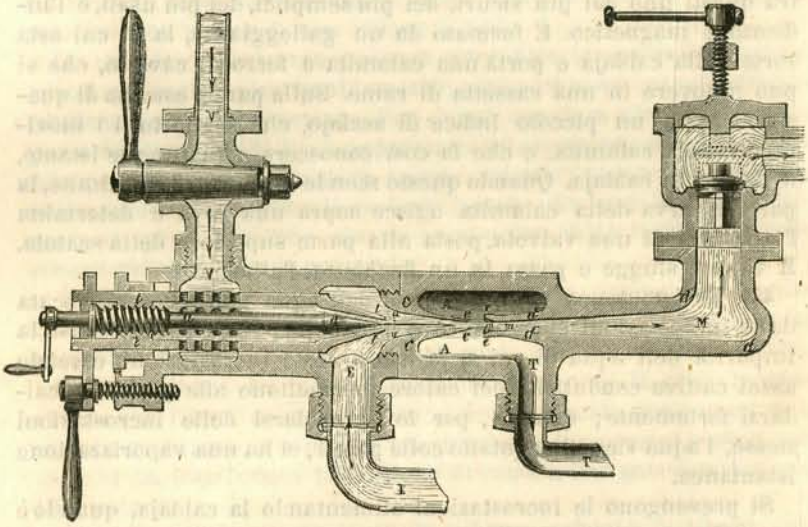


Fig. 341.

sai semplice, dovuto al sig. Giffard, col quale apparecchio si ottiene un'alimentazione diretta; ciò dà luogo ad una notevole economia di forza motrice.

Questo apparecchio, abbastanza curioso, è formato da un tubo *t t* di forma conica (fig. 341), dal quale, durante l'attività dell'apparecchio, sorte del vapore; questo proviene dalla caldaja per parte di un tubo *V V* e penetra nel tubo *t t* da piccoli fori praticati all'ingiro nella parete di questo. Il vapore, uscendo dal cono *E*, entra in un altro cono *c c*, dove incontra l'aqua d'alimentazione, condotta dal tubo *E E*. Dal contatto del vapore coll'aqua nascono due effetti: 1.° Siccome il vapore è animato da una gran velocità, dovuta alla pressione in caldaja, esso comunica parte della sua velocità all'aqua; 2.° contemporaneamente il vapore si condensa in contatto del-

l'aqua, che ha una temperatura di esso assai più bassa, di modochè dall'estremità del cono fino in *e e*, non rimane che un fluido composto quasi completamente d'aqua; rimangono al centro della vena liquida alcune bolle di vapore.

La vena fluida, alla sua uscita dal cono *c c*, percorre una piccola distanza all'aria libera, prima di entrare nel cono divergente *d d* opposto, che la deve condurre alla caldaja, per mezzo del tubo *M*. Onde questa vena possa entrare nella caldaja, basta che la sua velocità sia abbastanza grande da generare nel cono divergente una pressione superiore a quella esistente in caldaja; in questo caso una valvola, che serve, quando l'injettore non funziona, ad impedire l'uscita all'aqua della caldaja, si solleva e permette l'alimentazione del generatore.

A completare questa breve descrizione rimangono ancora da accennare alcuni meccanismi destinati a regolare l'apparecchio. È utile di poter far variare il volume di vapore effluente dal tubo *t t*, a seconda della pressione in caldaja; ciò si ottiene facilmente coll'asta lavorata a vite *a a*, che si muove per mezzo di un manubrio e che porta il nome di *ago*. È pure indispensabile di far variare il volume d'aqua che affluisce nel cono *c c*, richiamato dal vapore che esce dal cono *tt*; si raggiunge tale scopo manovrando una leva, che non si vede nella figura, la quale muove il tubo ed il cono *t t* che lo termina.

Finalmente, il tubo *E* è immerso nella tinozza che contiene l'aqua d'alimentazione; esso è destinato a condurre l'aqua aspirata nel cono *c c*. Il tubo *A T* serve di sfogo nel momento della messa in azione dell'apparecchio.

426. Locomotive. — Ancor vivente Watt si era pensato di impiegare il vapore per mettere in moto le vetture; diversi tentativi vennero fatti a questo soggetto ed esiste ancora al conservatorio di arti e mestieri di Parigi una vettura a vapore costruita nel 1778 da Cugnot. Nella maggior parte delle esperienze fatte da quest'epoca fino ai nostri giorni, si incontrarono delle difficoltà di esecuzione tali, che la costruzione delle veture a vapore atte a circolare sulle strade usuali, venne quasi abbandonata; recentemente però si è giunti a qualche risultato soddisfacente. Sulle strade ferrate, sulle quali la forza di trazione è di gran lunga inferiore che non sulle strade ordinarie (1), le prove si seguirono con perseveranza, ma si incontrava una difficoltà che sembrava insormontabile, consi-

[1]. Sopra un piano orizzontale ammattonato in grès ed in buon stato, il rapporto della forza di trazione alla carica totale è 0,060, sopra una strada ferrata arriva appena a 0,005.

stente nella quantità di vapore necessario all' andamento della macchina.

Nel 1827 Marco Segnin, ebbe la prima idea delle caldaje tubolari; questa disposizione, aumentando d'assai la superfice di riscaldamento, dà origine ad una vaporizzazione assai più intensa, ed il problema di fornire la quantità di vapore necessaria all'andamento della macchina si potè allora tentare con serie probabilità di riescita. Infatti, nel 1829, la compagnia delle ferrovie tra Liverpool e Manchester aperse un concorso per la costruzione di una macchina locomotiva, destinata a sostituire le macchine fisse che si impiegavano al rimorchio dei vagoni.

L'ingegnere inglese Stephenson vinse il premio e la sua macchina era costruita con tal perfezione, che in seguito non si ebbe ad apportarvi che sole migliorie di dettaglio.

427. Idea generale della locomotiva. — Una locomotiva è esenzialmente formata da un telajo in ferro, od in legno guernito di ferro, appoggiato, per l'intermezzo di forti molle d' acciajo, sugli assi di tre o quattro paja di ruote. Questo telajo porta una caldaja, ai lati della quale si trovano due macchine a vapore a cilindro orizzontale. Gli stantuffi di questi cilindri sono articolati a bielle, che agiscono sopra parti piegate a gomito dell' asse di un pajo di ruote, dette ruote motrici, oppure sui raggi stessi di queste ruote, in modo da porle in movimento. La prima disposizione si usa quando il meccanismo è all'interno del telaio, come si vede nella maggior parte delle antiche locomotive; la seconda quando il meccanismo è esterno.

Siccome in questo caso delle locomotive non si può impiegare il volante, si ovvia alle variazioni di velocità disponendo le manovelle in modo che il punto morto dell'una corrisponda al massimo d'effetto dell' altra. La locomotiva è seguita da una specie di vagone detto *tender*, contenente la provvista d'aqua e di carbone; una pompa alimentare, adattata a ciascuna macchina, e posta in movimento dall'asta dello stantuffo, spinge continuamente l' aqua dal tender nella caldaja. Oggigiorno si sostituiscono gradatamente alle pompe gli injettori. Finalmente, un meccanismo particolare permette al macchinista di cambiare la distribuzione del vapore e, di conseguenza, di far marciare a volontà la macchina in nn senso o nell'altro.

428. Calcolo della velocità e della forza di trazione. — Si supponeva dapprincipio che, onde il movimento del convoglio potesse derivare da quello delle ruote motrici, fosse necessario che queste avessero un punto d' appoggio diretto, così da impedire lo scivolamento, che avrebbe permesso alle ruote di girare su se stesse senza trascinare il carico. Gli è dietro questa idea che si imaginarono le

guide scanellate e si dispose sulla strada una dentiera colla quale ingranava una ruota messa in movimento dalla macchina. L'esperienza ha mostrato che questi mezzi, incomodi del resto, sono inutili, e che l'aderenza delle ruote colle guide, risultante dal peso della locomotiva, è generalmente sufficiente a determinare il moto del convoglio; solamente, onde ottenere con certezza lo scopo, bisognò dare un peso assai grande alle locomotive, peso che, qualche volta, sorpassa le 30 tonnellate.

Se si ammette che non si manifesti alcun scorrimento, ad ogni colpo doppio di stantuffo la ruota motrice farà un giro e, di conseguenza, la locomotiva progredirà di una quantità uguale alla circonferenza delle ruote motrici.

Si supponga che queste abbiano $1^m, 40$ di diametro, e che il numero delle corse doppie dello stantuffo sia di 3 al minuto secondo; in questo tempo la macchina percorrerà uno spazio uguale a:

$$\pi . 1^m, 40 . 3 = 13^m, 20.$$

In quanto alla forza di trazione necessaria a rimorchiare un convoglio, la si può dedurre facilmente dal risultato citato precedentemente, che cioè, sopra guide secche ed orizzontali, il rapporto della forza di trazione alla pressione è di circa 0,005, e da questo altro fatto, che una locomotiva non può agire sopra una resistenza maggiore del sesto del proprio peso. Dietro ciò, una locomotiva del peso di 20 tonnellate, potrà produrre una trazione misurata da $\frac{20}{6}$ di tonnellata, e quindi potrà rimorchiare un convoglio del peso di: $\frac{20}{6} . \frac{1000}{5} = 666$ tonnellate.

Rendendo solidarie tutte le ruote della locomotiva, dimodochè esse ricevano simultaneamente il moto dallo stantuffo, si può aumentare la resistenza, e tanto più quanto maggiore è il numero delle ruote; gli è appunto per questo motivo che nelle locomotive destinate a rimorchiare i treni di merci, od a superare pendenze un po' forti, si diminuisce il diametro pelle ruote e se ne aumenta il numero; questo qualche volta è portato fino a quattordici.

Quando in causa di circostanze meteorologiche, quali la brina, la nebbia, le guide diventano scivolanti, oppure quando il convoglio è troppo carico, si ha un po' di tempo perso nel movimento; le ruote girano sopra sè stesse e si dice allora che la locomotiva *pattina*.

429. Descrizione della locomotiva Stephenson. — La figura 342 rappresenta lo spaccato longitudinale della locomotiva a sei ruote di Stephenson. Il corpo della caldaja ha la forma di un cilindro, il di cui fondo piatto, situato alla parte anteriore, costituisce una delle pareti di una capacità posta alla base del camino, che vien detta

cassa del fumo. Alla parte posteriore si trova un'altro spazio, avente la stessa forma della cassa del fumo, ma più capace di quella; è la *camera del fuoco* o focolajo. La caldaja, e di conseguenza l'aqua, avvolgono il focolajo da tutte le parti, eccetto nella parte corrispondente alla porta. Il combustibile, che ordinariamente è coke, vien posto direttamente sulla griglia ed i frammenti di carbone cadono sulla strada.

La comunicazione fra la cassa del fuoco e quella del fumo è

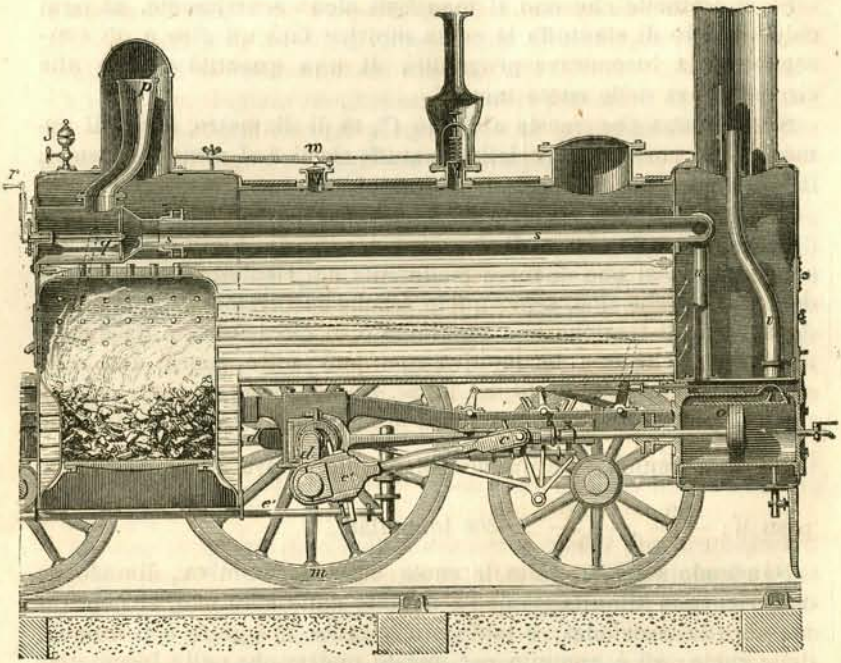


Fig. 342.

fatta mediante tubi di bronzo, saldamente ribaditi alle pareti della caldaja; i prodotti della combustione non possono sfuggire che attraversando tutta la lunghezza di questi tubi. Il numero di questi è assai grande, giacchè se ne contano fino 150 o 180; si ottiene in questa guisa una superfice di riscaldamento assai estesa, quale, come si è detto, è assolutamente indispensabile.

L'aqua in caldaja dev' essere abbastanza alta da coprire tutti i tubi e la parete superiore della cassa del fuoco. Sotto gli occhi del fochista si trova un indicatore di livello; oltre a ciò sonvi due robinetti di prova; a seconda del bisogno dell'alimentazione, si fa variare l'apertura di un robinetto, posto nel tubo *e'*, che va ad attingere l'aqua nel tender.

La presa del vapore vien fatta, per mezzo del tubo *p*, alla parte superiore di una cupola, così che non si abbia a temere che, in causa del movimento dell'apparecchio, delle goccioline d'aqua abbiano ad introdursi nel cilindro insieme al vapore, circostanza questa sempre dannosa.

Il vapore è condotto a due scatole di distribuzione per mezzo del tubo *s* che attraversa la caldaja in tutta la sua lunghezza, all'origine del quale si trova un'apertura *q*, che si puo aprire più o meno per mezzo della chiave *r*. Un quadrante graduato, esterno, indica il grado di apertura. Questo meccanismo porta il nome di regolatore.

Nella scatola di distribuzione si muove un cassetto a conchiglia, pel giuoco del quale il vapore passa successivamente ad agire sulle due faccie dello stantuffo *a*; il vapore espulso si porta nel tubo *v*, dal quale sfugge periodicamente nel camino. Questa circostanza è assai importante; il getto di vapore attiva singolarmente la tirata e permette di diminuire di molto l'altezza del camino.

L'asta *b* dello stantuffo si articola colla biella *c c'*, articolata essa stessa con una parte a gomito dell' assale delle ruote motrici *m*; *w* è una valvola di sicurezza a molla; *J* è il fischietto a vapore.

430. Coulisse di Stephenson. — È assai importante che il macchinista possa far muovere a volontà la locomotiva in un senso o nell'altro, con una manovra semplice e facile da eseguire. Diversi mezzi furono proposti a tale intento; tra questi ci limitiamo a far conoscere la coulisse di Stephenson.

La coulisse di Stephenson mira ad un doppio scopo: il primo è quello di determinare a volontà il movimento del cassetto per la marcia in avanti o per la marcia indietro; il secondo è quello di far variare, entro certi limiti, l'espansione. Due eccentrici inversi (fig. 343) *A* ed *A'* hanno le loro bielle articolate in *B* e *B'*, alle due estremità di una scanalatura (coulisse) curva. In questa coulisse si introduce un pezzo *C*, facente parte di una leva mobile intorno al punto fisso *E*, la quale può occupare diverse posizioni; l'estremità *D* della leva *D E* si articola colla biella *D N*, che dirige l'asta *P* del cassetto. La coulisse stessa è sospesa ad un sistema *L I M K*, che permette di alzarla o di abbassarla, per mezzo di un manubrio *G H F*, a portata del macchinista. Quando la coulisse è completamente abbassata, l'estremità *B*, della biella condotta dall'eccentrico *A*, è assai vicina al pezzo *C* che dirige il cassetto; questo obbedisce dunque quasi esclusivamente all' eccentrico *A*. Accade il contrario quando la coulisse è completamente sollevata. Nel primo caso la locomotiva cammina in un senso; nel secondo caso, marcia in senso contrario.

Se la coulisse è in una posizione intermedia, il cassetto è go-

vernato ad una volta dai due eccentrici. Se, per esempio, il bottone *C* si trovasse esattamente al mezzo della coulisse, il cassetto non si sposterebbe, la distribuzione non avrebbe luogo e, di conseguenza, la macchina si fermerebbe. Da tali disposizioni si capisce che la corsa del cassetto sarà tanto più limitata, quanto più il bottone sarà vicino al mezzo della coulisse; è facile di capire che la durata dell'espansione sarà, al contrario, più grande, giacchè, il tempo impiegato dal cassetto a compiere una corsa rimanendo sempre lo stesso, la lunghezza di questa sarà minore. La coulisse di Stephenson fornisce dunque un mezzo di far variare l'espansione; questo mezzo è imperfetto, è vero, sotto certi riguardi, ma però è di una semplicità tale, che lo ha fatto generalmente addottare.

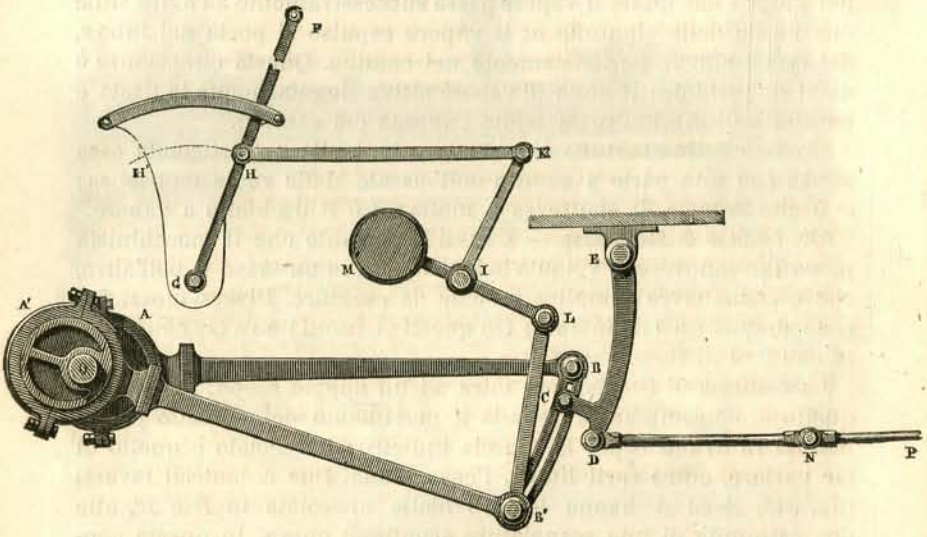


Fig. 343.

431. Tipi di locomotive. — La locomotiva Stephenson, ha subito dalla origine in poi dei grandi perfezionamenti (1), la di cui descrizione non può trovar posto qui; ci limitiamo a dire che si distinguono tre tipi di locomotive: 1.° Macchine a gran velocità; 2.° Macchine miste; 3.° Macchine per le merci. Il tipo più noto della prima categoria è la macchina Crampton, usata pel servizio dei treni espressi sulle linee del Nord e del Mediterraneo. Le ruote motrici si trovano alla parte posteriore, disposizione che permette di dar loro un gran diametro, senza troppo elevare il centro di gravità e, quindi, senza nuocere alla stabilità del sistema.

(1) Si rimanda il lettore al *Traité élémentaire des chemins de fer* di Ledieu.

Il peso di una macchina Crampton è di 28 tonnellate circa; il tender colla sua provvista di carbone pesa 18 tonnellate; totale 46 tonnellate.

Le macchine miste sono destinate a rimorchiare i treni di viaggiatori a piccola velocità, quelli che vengono detti treni omnibus; in esse si hanno generalmente due ruote accoppiate colle ruote motrici, disposizione che fornisce un'aderenza corrispondente alla carica di due assali. Il loro peso medio e di 20 tonnellate; quello del tender 14. Le macchine per le merci sono a sei ruote accoppiate, e qualche volta a sette e fino ad otto. Tali sono le macchine dell' ingegnere austriaco Engerth, destinate a superare delle pendenze eccezionali sulla ferrovia di Trieste. Nelle Engerth, il peso della macchina è di 40 tonnellate; quello del tender 22.

Un quarto tipo è quello delle macchine che portano la loro provvista di carbone e di aqua. Queste locomotive-tender servono alle diverse manovre nelle stazioni. Qualcuna di queste macchine fa il suo servizio sulle strade ferrate all' interno delle città, come si vede da Sanit-Germain ed a Versailles. A questo tipo si possono riferire le diverse macchine usate pei *tramwais*.

Nelle locomotive si produce generalmente il vapore alla pressione di 5 atmosfere; esse consumano in media da 7 ad 8 chilogrammi di coke per chilometro, sopra una ferrovia orizzontale: le macchine Engerth consumano presso a poco il doppio.

In quanto alla potenza delle locomotive, essa è insieme proporzionale al carico da trascinarsi ed alla velocità che gli imprime.

Così, una locomotiva Crampton di 200 cavalli, può rimorchiare un treno di 40 tonnellate colla velocità di 56 chilometri all'ora; una locomotiva da merci della stessa potenza, può rimorchiare un treno del peso di 200 tonnellate, ma con una velocità 5 volte minore.

LIBRO III.

MAGNETISMO — ELETTRICITA'.

PARTE PRIMA — MAGNETISMO.

CAPITOLO I.

DELLE CALAMITE.

432. Calamite naturali ed artificiali. — Si dà il nome di *calamita naturale* ad un minerale che gode della proprietà di attirare il ferro. Questa sostanza non è altro che un ossido di ferro, intermedio tra il protossido ed il sesquiossido, ed ha per formola chimica $Fe^3 O^4$. Lo si trova abbondantemente in diverse regioni e specialmente al nord dell'Europa, dove forma masse importanti di minerale, dalle quali si cava il ferro assai pregiato, conosciuto sotto il nome di *ferro di Svezia.*

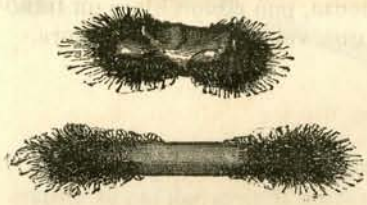


Fig. 344.

Per mezzo di frizioni convenientemente praticate, si può comunicare la proprietà magnetica a sbarre d'acciajo, le quali prendono allora il nome di *calamite o magneti artificiali.* Il ferro, del resto, non è la sola sostanza sensibile all'azione delle magneti; il nichelio, il cobalto ed alcune altre sostanze, delle quali si darà in seguito la nota, presentano la stessa proprietà; a tali sostanze si dà il nome di sostanze *magnetiche.*

433. Costituzione generale delle magneti. — La proprietà di attirare il ferro non è egualmente distribuita nelle diverse parti di una magnete, sia poi questa naturale od artificiale. Infatti, se si immerge una sbarra magnetica nella limatura di ferro, si vede, come lo mostra la figura 344, che la limatura forma dei filamenti assai abbondanti alle estremità e che vanno diminuendo rapidamente

man mano che si va avvicinandosi alla parte di mezzo della calamita. Se la magnete è corta, la limatura aderisce dappertutto; se però la sua lunghezza è appena un po' significante, si nota uno spazio più o meno esteso, nella regione media, sul quale non si osserva attrazione sensibile. Queste particolarità si presentano sempre, qualunque sia la forma della sbarra. In qualunque magnete si distinguono dunque due regioni attive, corrispendenti alla estremità, dette *poli*, ed una regione inattiva, detta *spazio neutro*, costituita da una porzione più o meno estesa della parte media.

434. Spettro magnetico. — Tale costituzione delle magneti è resa assai manifesta dalla curiosa esperienza dello spettro magnetico.

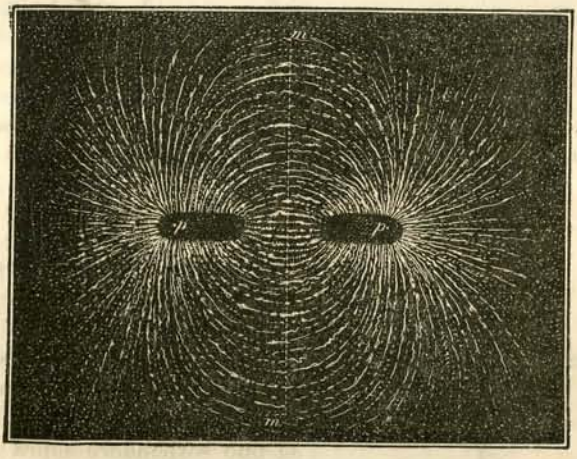


Fig. 345.

Al disopra di una magnete si dispone un foglio di cartone, e su questo si projetta della limatura di ferro finamente stacciata. Si dà poscia qualche piccolo urto al cartone, allo scopo di favorizzare l'azione che la magnete esercita attraverso al cartone stesso: i grani di limatura, obbedendo a questa azione, formano delle linee curve, disposte come lo mostra la figura 345. Vi si scorge chiaramente come le regioni polari p, p costituiscono i centri d'irradiazione delle diverse linee, disposte in tutti i sensi possibili, ma che circondano la parte media, in modo da indicare che in questa regione non esiste alcuna attrazione apprezzabile.

435. Curve d'intensità. — Si può valutare approssimativamente l'intensità relativa della forza magnetica nei diversi punti della sbarra; basta percio misurare qual peso di ferro può portare ciascun punto; questi diversi pesi sono la misura proporzionale dell' intensità magnetica nei punti corrispondenti. Se sui diversi

punti della retta $O X$ (fig. 346), che rappresenta l'asse della sbarra magnetica, si elevano delle perpendicolari alla retta stessa, le si fanno in lunghezza proporzionali ai pesi misurati, e se ne riuniscono gli estremi con una linea continua, si avrà una curva $A M B$, conosciuta col nome di curva *delle intensità*; questa curva si può determinare anche con metodi più rigorosi di quello accennato. Essa si compone di due rami $A M$ e $B M$ affatto identici, ciò che indica una perfetta simmetria nelle intensità magnetiche. Nella figura si è data una disposizione inversa alle due parti della curva, onde richiamare la contrarietà d'azione dei due poli, della quale si dirà più innanzi.

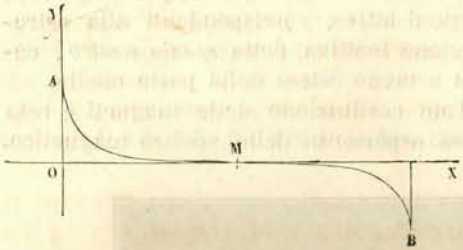


Fig. 346.

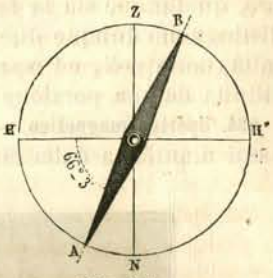


Fig. 347.

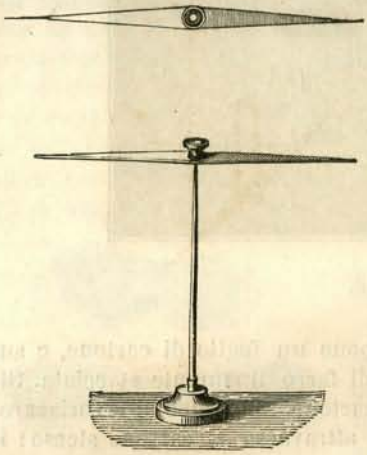


Fig. 348.

436. Ago magnetico. — Un ago magnetico non è altro che un'asticina magnetizzata, di forma qualunque. Spesso però esso è formato da una lamina sottile d'acciajo, avente la forma di una losanga allungata; nel suo mezzo porta una cupoletta o *cappa*, per la quale lo si può sospendere sopra un'asse (fig. 348). Se la cappa è posta in tal posizione che l'ago, montato sul suo perno, rimanga orizzontale, si osserva come esso non rimane in equilibrio in una posizione qualunque, ma si ferma in una posizione determinata, alla quale ritorna sempre, quando ne venga smosso. In questa posizione, una delle estremità sta rivolta *pressochè* verso il nord e dicesi *polo nord* o *polo australe;* l'estremo opposto, il quale si volge pressochè verso il sud, dicesi *polo sud* o *polo boreale.*

La bussola è appunto fondata su questa importante proprietà. Ordinariamente gli aghi magnetici vengono dapprima temperati fortemente, poi ricotti fino a che abbiano presa una tinta bleue assai pronunciata. Questa tinta vien conservata sulla metà dell'ago

che si volge verso nord e tolta sull'altra metà, la quale presenta quindi la tinta grigia propria dell'acciajo.

437. Declinazione. — In fatto il polo australe dell'ago non si volge esattamente verso nord, ma l'asse dell'ago forma con questa direzione un certo angolo, variabile da un luogo ad un'altro e da una epoca all'altra, anche in uno stesso luogo. A questo angolo si dà il nome di *declinazione;* questa può essere orientale od occidentale. A Parigi, presentemente, la declinazione è occidentale e di circa 19°; il piano verticale passante per l' *asse magnetico* dell' ago, dicesi *piano del meridiano magnetico:* esso forma col piano del meridiano geografico di un luogo un angolo, il quale è appunto quello che dicesi angolo di declinazione.

438. Inclinazione. — Se prima di magnetizzare un'ago d'acciajo, si fa passare un pernio pel suo centro di gravità, sospesolo ad un filo senza torsione, l'ago si manterrà in equilibrio, tanto in posizione orizzontale che in qualunque altra posizione.

Magnetizzato in seguito l' ago, questo non si ferma più indifferentemente in equilibrio in una posizione qualunque; ma si orienta nel piano del meridiano magnetico ed in questa posizione non si mantiene più orizzontale (fig. 349). L' estremo che si volge a nord, si inclina sotto l'orizzonte e forma con questo un angolo che prende il nome di *inclinazione.*

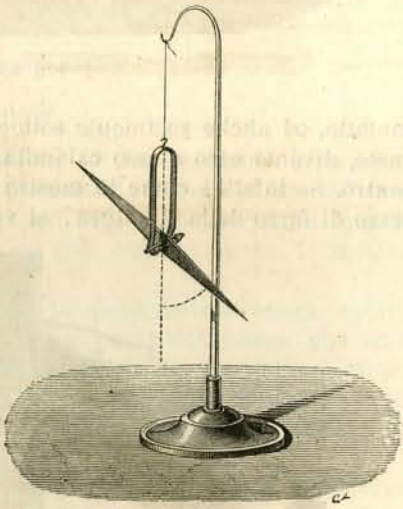


Fig. 349.

L' inclinazione varia, come lo fa la declinazione. A Parigi la inclinazione è attualmente di 66.° (fig. 347).

Da tal circostanza nasce che, se si vuole che un ago magnetico sospeso ad un perno si mantenga orizzontale, bisogna che il pernio non passi pel centro di gravità dell'ago, ma vi sia un po' meno materia dalla parte dalla quale esso si inclina sotto l' orizzonte; gli aghi così costruiti prendono il nome di *aghi di declinazione.*

439. Azione reciproca dei poli. — Quando alle estremità di un ago magnetico, sospeso ad un perno, si avvicinano i poli di un' altra

magnete, si riconosce che vi ha attrazione o ripulsione, a seconda che i poli accostati sono di nome contrario o dello stesso nome. I poli di nome contrario si attirano; i poli omonimi si respingono.

Questa proprietà permette di distinguere un corpo magnetico da una magnete. Il primo viene indifferentemente attirato dai poli di una calamità, la seconda invece presenta due poli, di cui, l'uno è attirato e l'altro respinto. Le attrazioni e ripulzioni magnetiche si producono anche attraverso un mezzo qualunque, purchè esso non sia magnetico.

440. Magnetizzazione per influenza. — Quando un pezzo di ferro è in

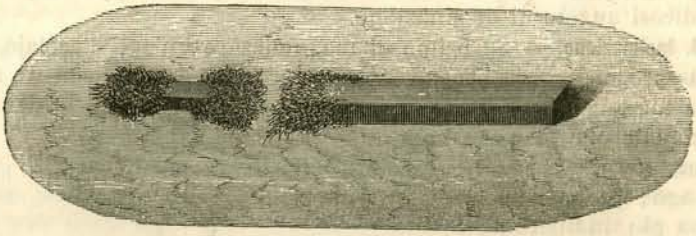


Fig. 350.

contatto, od anche solamente sottoposto all' influenza di una magnete, diventa esso stesso calamita, con due poli ed uno spazio neutro. Se infatti, come lo mostra la figura 350, si projetta sul pezzo di ferro della limatura, si vede che questa aderisce solamente alle estremità. Se si toglie la calamita influenzante, la limatura cade ed il ferro non presenta più alcun magnetismo apprezziabile. Facendo uso di acciajo, anzichè di ferro, si osserva un risultato analogo, ma con una differenza assai importante. L'acciajo si magnetizza con meno forza e più lentamente, ma la magnetizzazione persiste anche quando cessi l' azione influenzante. La causa alla quale si attribuisce questa proprietà speciale del-

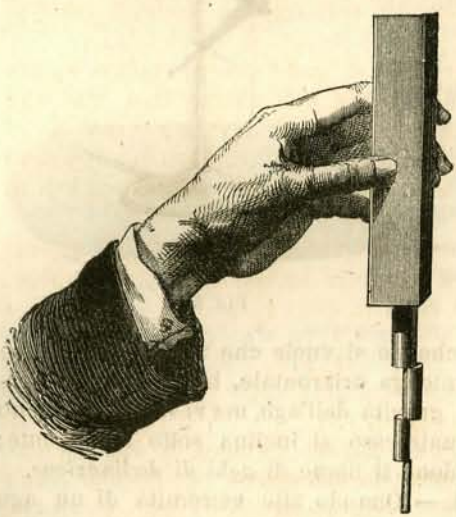


Fig. 351.

l'acciajo venne detta *forza coercitiva*. Quando il ferro è assai puro, ben privo d' acciajazione, esso non presenta alcuna forza coercitiva e lo si dice *ferro dolce*.

Nella magnetizzazione per influenza si può facilmente riscontrare come il polo più vicino al polo induttore è di nome contrario a quest' ultimo; ne segue una mutua azione attrattiva, in causa della quale, il pezzo di ferro può essere portato dalla magnete; ma il ferro magnetizzato può a sua volta sostenere un secondo pezzo di ferro, e così di seguito (fig. 351), formando una catena magnetica.

Gli è in per un meccanismo analogo che si formano i fiocchi di limatura aderenti ad una sbarra magnetizzata; essi sono infatti costituiti da una serie successiva di grani, dei quali ciascuno, in causa di una magnetizzazione temporaria, attira e trattiene il seguente.

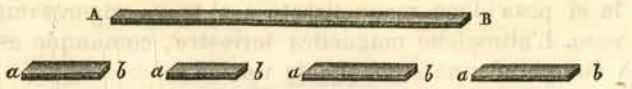


Fig. 352.

441. Esperienza della calamita spezzata. — La seguente esperienza permette di dedurre nuove conseguenze. Se si spezza un' asta magnetica *A B* in diversi frammenti (fig. 352), ciascuno di questi diventa una calamita completa, coi poli disposti come lo mostra la figura.

Siccome si può immaginare che la suddivisione venga spinta fino all'ultimo limite possibile, così si può immaginare che una magnete non sia altro che il risultato dell' avvicinamento di un certo numero di *elementi magnetici* completi, indipendenti, aventi ciascuno un polo australe ed un polo boreale, ed orientati tutti alla stessa maniera.

La costituzione degli elementi magnetici fu l' oggetto di diverse ipotesi; noi vedremo in seguito quella immaginata da Ampère, fondata sulle proprietà delle correnti elettriche.

CAPITOLO II.

FORZA DIRETTRICE DEL GLOBO.

442. La forza che orienta l' ago magnetico è puramente direttrice. — La direzione che assume l'ago magnetico abbandonato a sè stesso, è

nota da moltissimo tempo e sulla sua origine vennero fatte diverse ipotesi, delle quali è inutile di far qui parola.

Oggigiorno i fisici sono d'accordo nell'ammettere che essa è dovuta all' azione della terra. Il nostro globo contiene infatti una quantità considerevole di sostanze magnetiche; del resto tutte le sostanze sono scuscettibili di agire in un modo od in un'altro sull'ago magnetico (444); si deve dunque avere un effetto risultante, come si ha un'effetto risultante delle azioni attrattive del globo che danno origine al peso. Ciò non ostante, questa risultante, nel caso delle magneti, non è una forza propriamente detta, giacchè essa non tende a spostarli nello spazio, ed ha solo per risultato di dirigerle, di orientarle. È dunque una forza puramente direttrice; in altri termini, è ciò che in meccanica dicesi *coppia* (30 e 68).

Questa importante proposizione si dimostra rigorosamente per mezzo delle seguenti esperienze:

1.° Si pesa esattamente una sbarra d'acciajo prima di magnetizzarla; la si pesa dopo magnetizzata e si trova rigorosamente lo stesso peso. L'attrazione magnetica terrestre, comunque essa sia, non ha dunque alcuna componente verticale.

2.° Ad un filo assai sotttile si sospende liberamente pel suo mezzo un asta non magnetizzata; il filo prende naturalmente la direzione verticale. Se si magnetizza l'asta, essa si orienta in modo determinato nello spazio; ma le più rigorose misurazioni permettono di constatare che, ad equilibrio stabilito, il filo è esattamente verticale. Dunque l'azione terrestre non ha nemmeno una componente orizzontale.

3.° Se si colloca un'ago magnetico su di un pezzetto di sughero galleggiante sull'acqua, il sistema gira su se stesso, finchè l'ago si trovi nel meridiano magnetico; da questo momento non si osserva più alcun movimento.

Si deve dunque considerare un ago magnetico come sottoposto all'azione di due forze uguali, parallele, e dirette in senso contrario; il loro assieme costituisce la *coppia terrestre* o coppia direttrice.

443. Bilancia magnetica. — Nel caso in cui si tratti di azioni lontane, e specialmente dell' azione terrestre, qualunque sia la posizione di un' asta magnetica, la risultante delle azioni su ciascun elemento di cui si può ritenere composta l'asta, conserva, e la stessa direzione e la stessa intensità; così pure il suo punto di applicazione rimane invariabile: è a questi punti d' applicazione che si dà il nome di poli magnetici dell'asta. Da questa osservazione segue che, se si sposta un ago magnetico dalla sua posizione di equilibrio nel meridiano magnetico, esso tenderà a ritornarvi, sollecitato da una forza che, sempre applicata allo stesso punto, conserva costante la direzione e la intensità. La parte di questa forza che produce effettivamente il movimento, è la componente secondo la tangente; essa è pertanto proporzionale al coseno dell' angolo che questa tangente fa colla direzione della forza o, ciò che è lo stesso, al seno dell' angolo di spostamento dell'ago.

Coulomb ha dimostrato sperimentalmente questo fatto per mezzo della bilancia di torsione, leggermente modificata per renderla adatta allo studio dei fenomeni magnetici (fig. 353). La disposizione generale è la stessa di quella usata pei fenomeni elettrici, (vedi la descrizione della bilancia di Coulomb al 459) solamente, il piccolo pezzo metallico che termina il filo, vi è sostituito da un' altro, avente la forma di una staffa; sopra questa staffa riposa la sbarra magnetica, in modo che si collochi, senza torsione, nel piano del meridiano magnetico, ed in faccia allo zero della graduazione angolare tracciata sulla cassa. Per giungere a questo risultato, si incomincia dal sospendere la sbarra ad un filo senza torsione; essa si dispone naturalmente nel meridiano magnetico; si gira la cassa in modo da collocare lo 0° in questo meridiano; si sostituisce allora un filo metallico al filo senza torsione, ed un regolo di rame alla magnete; il regolo si dispone in una posizione d'equilibrio, che corrisponde evidentemente alla mancanza di torsione nel filo; si fa allora girare il bottone superiore, onde ridurre il regolo nel meridiano magnetico; si sostituisce finalmente al regolo la sbarra magnetica, la quale vien così a

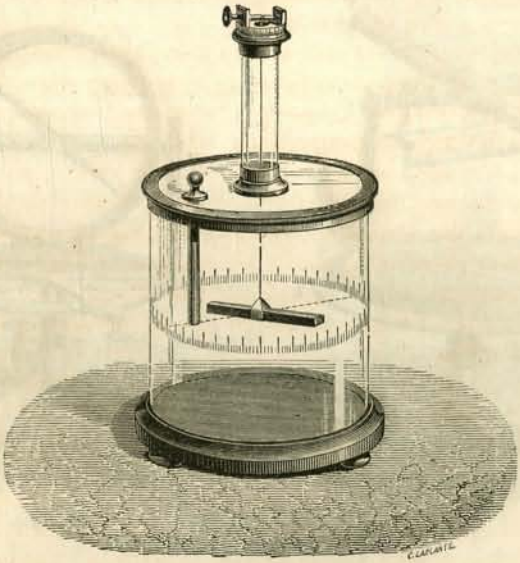


Fig. 353.

trovarsi nel meridiano magnetico e senza torsione alcuna nel filo. Preparato così l'apparecchio, si fa girare il micrometro superiore così da torcere il filo e far uscire la sbarra dal meridiano magnetico. Comparando, in diverse esperienze successive, le torsioni effettive alle deviazioni dell'ago, si trova che queste sono proporzionali ai seni degli angoli di deviazione.

444. Misura della declinazione. — La misura della declinazione è effettivamente un'operazione astronomica, della quale cercheremo di dare un'idea. L'istrumento di cui si fa uso è formato esenzialmente da un' ago di declinazione, mobile su di un quadrante graduato *M* (fig. 354). Sopra questo quadrante son fissati due montanti ver-

ticali, portanti un cannocchiale $L L'$, mobile attorno ad un'asse orizzontale $a a'$; l'orizzontalità dell'asta è accusata dalla livelletta $N N$ e può ottenersi per mezzo delle viti di livello che portano l'apparecchio. Il piano verticale nel quale si muove la visuale del cannocchiale contiene la linea 0 — 180, (segnata ordinariamente $n s$) della graduazione del quadrante. Finalmente, il quadrante, con tutte le parti da esso portate, è esso stesso mobile sul cerchio graduato $P Q$. Ciò posto, per osservare la declinazione, si mira col cannocchiale un'astro determinato, del quale son noti gli elementi astronomici. Questi elementi permettono di calcolare, a seconda dell'ora di osservazione, l'angolo formato dal piano verticale dell'astro col piano del meridiano; non si ha dunque che a far girare il quadrante sul cerchio graduato di una quantità

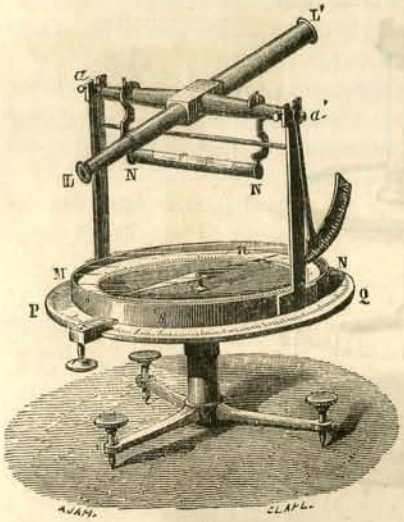


Fig. 354.

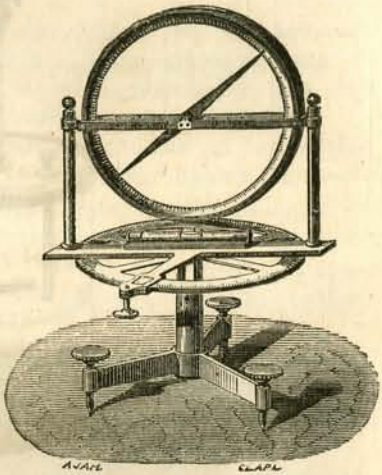


Fig. 355.

uguale a questo angolo; la linea 0 — 180 si troverà così nel meridiano e la declinazione potrà venir letta direttamente.

445. Misura dell'inclinazione. — La bussola d'inclinazione è formata da un cerchio verticale graduato (fig. 355), di contro al quale si può muovere un'ago magnetico, girevole intorno ad un'asse orizzontale che passa pel suo centro di gravità; il telajo che porta il cerchio può porsi in tutti gli azimut possibili, con rotazioni il di cui valore si può misurare per mezzo di un cerchio graduato orizzontale. Come si vede, se si potesse disporre il cerchio mobile nel piano del meridiano magnetico, l'ago si muoverebbe liberamente in questo piano e darebbe direttamente l'inclinazione. Si può giungere a

questo risultato colla osservazione seguente: supponiamo il piano del cerchio verticale, disposto esattamente perpendicolare al meridiano magnetico; l'ago si trova allora sottoposto a due forze agenti in un piano perpendicolare a quello nel quale esso si può muovere; si disporrà dunque necessariamente nell'intersezione dei due piani, che è una verticale. Reciprocamente, se si fa girare il disco finchè l'ago sia verticale, si sarà sicuri che questo si trova in un piano perpendicolare al meridiano magnetico; basterà allora di farlo girare di 90° sul cerchio orizzontale, perchè si trovi nel piano del meridiano magnetico e si possa leggere direttamente l'inclinazione.

446. Variazioni della declinazione e dell' inclinazione. — La declinazione e l' inclinazione variano da un luogo, all'altro, come già venne detto; variano pure nello stesso luogo, col tempo. Così, all' epoca delle più antiche osservazioni fatte a Parigi, nel 1580, la declinazione era di 11°, 30′ all'est; nel 1663 l'ago si dirigea perfettamente al nord; Parigi era dunque allora su di una linea senza declinazione.

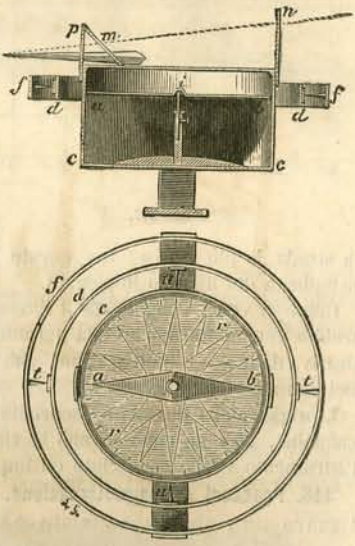


Fig. 356.

Da quest'epoca la declinazione divenne occidentale ed andò aumentando fino nel 1814, nel qual anno assunse il valore massimo di 22°, 34′; a partire da questo momento essa diminuì gradatamente, ed al presente è di 19° circa.

In quanto all' inclinazione, dal 1671, anno in cui si incominciò ad osservarla, essa è sempre andata diminuendo; da 75° si è abbassata a 66°, suo valore attuale. Le variazioni osservate dopo il 1863 riuscendo appena sensibili, si può ritenere che il valore attuale sia un valore minimo, il quale sarà seguito da un movimento ascendente.

447. Bussola. — La bussola marina, che generalmente prende il semplice nome di *bussola*, presenta alcune particolarità, in relazione allo scopo speciale pel quale deve servire. È formata da una scatola *c* (fig. 356), zavorrata e sospesa, col metodo di Cardano, per mezzo di due assi *t t* ed *u u*, indipendenti e perpendicolari l'uno all'altro. Dentro la scatola riposa sopra un perno un disco di talco o di mica, sul quale è collato l'ago magnetico *a b*. Il disco qualche volta è graduato, ma più spesso porta la rosa dei venti, e l'ago vi si trova applicato a seconda

della linea principale segnata *N S*. L'apparecchio è generalmente installato sul ponte e posto sotto gli occhi del timoniere che manovra la ruota di governo. A seconda della linea *f f* tracciata sulla cassetta, che dicesi *linea di fede*, e non è altro che quella dell'asse del bastimento, è posto uno specchietto *m*, il quale permette al timoniere, collocato in *O*, di vedere ad ogni momento l'immagine della divisione posta sull'asse e, per conseguenza, l'angolo formato dall'asse del bastimento colla direzione dell'ago magnetico, e quindi col meridiano, tenuto conto della declinazione. Se si potesse trascurare il movimento laterale; vale a dire la deriva, questo dato sarebbe il solo necessario per seguire il cammino voluto. Effettivamente i marinai fanno uso di carte tracciate secondo la projezione di Mercatore (fig. 357), nelle quali il meridiano ed i parallelli son formati da due sistemi di linee rette parallelle fra loro. È noto che con questo metodo, gli angoli formati sulla carta sono uguali agli angoli reali sulla terra. Da ciò segue che, se si traccia una retta sulla carta da un punto *A* ad un'altro *B*, la retta *A B* farà lo stesso angolo con tutti i meridiani, di modo che, assoggettandosi nel viaggio a formare sempre questo angolo, si sarà effettuata la traversata fra i due punti. Gli è però vero che non si sarà seguita la strada la più breve, ma questo è un leggiero inconveniente rispetto alla semplicità del metodo impiegato.

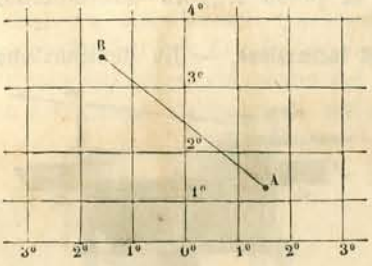


Fig. 357.

Come si vede, l'angolo che il timoniere deve mantenere durante il viaggio, potrebbe venir determinato alla partenza una volta per tutte, ma l'influenza della desriva dà luogo a modificazioni, che vengono calcolate sull'osservazione diretta del cammino laterale.

L'origine della bussola è oscurissima: gli antichi, i quali conoscevano la pietra calamita, non ne conoscevano la virtù direttrice; fu durante il XIII.° secolo che l'istrumento venne conosciuto ed impiegato in Europa.

448. Processi di magnetizzazione. — Il processo generale per magnetizzare una sbarra consiste nello strofinarla per sufficiente tempo con una sbarra magnetica. Prima che fossero conosciute le calamite temporarie che oggigiorno si producono col mezzo dell'elettricità, le quali possono avere, per così dire, quella forza che si desidera, si erano immaginati diversi metodi detti di *semplice contatto*, *doppio contatto*, ecc. e che sono ora completamente usciti di consuetudine. Si applicano oggigiorno quasi esclusivamente i due metodi seguenti:

1.° Si fa uso di un'elettrocalamita fissa (fig. 358), sui poli della quale si fanno scorrere alternativamente in senso contrario le sbarre da magnetizzare. L'effetto di questa frizione è quello di sviluppare nell'estremità che lascia la calamita, un polo di nome contrario a quello agente; da qui si capisce come le frizioni inverse sui due poli tendono a produrre una magnetizzazione di ugual senso.

2.° Quando si voglia produrre un'energica magnetizzazione, la elettrocalamita dev'essere potente, ed allora l'aderenza della sbarra è tale che da rendere l'operazione assai incomoda, e, di più, la spranga può rimanere fortemente rigata dallo strofinamento. In questi casi si preferisce di far muovere lungo la spranga un rocchello nel quale passa una corrente elettrica (fig. 359). È questo il processo di Arago e di Ampère, del quale si parlerà in seguito.

La terra agendo come una calamita, ne nasce che i differenti

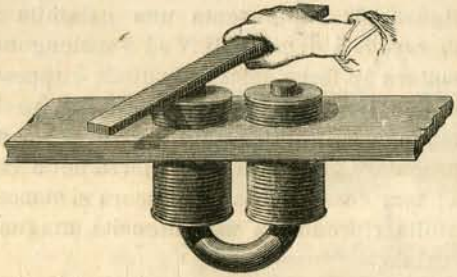


Fig. 358.

Fig. 359.

corpi magnetici, ed in particolare il ferro e l'acciajo, provano una magnetizzazione temporaria o permanente, derivante dall'azione del globo. I poli delle calamite così formate dipendono dalla posizione dei corpi rispetto al meridiano magnetico.

Spesso accade, quando si voglia magnetizzare fortemente una spranga, che si ottengano più di due poli; i poli supplementari portano il nome di *punti conseguenti;* questa circostanza, in generale, è dannosa e devesi, per quanto è possibile, evitarla. La figura

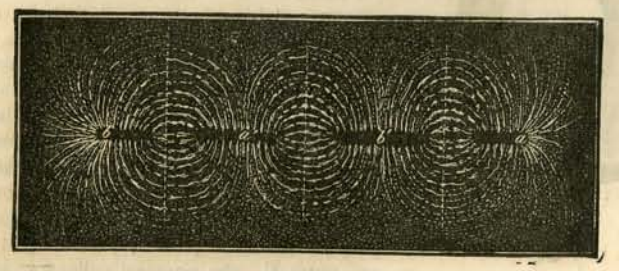


Fig. 360.

360 rappresenta l'esperienza dello spettro magnetico, eseguita con una spranga presentante dei punti conseguenti.

La forza delle magneti dipende in generale dal loro volume; d'altra parte si è trovato che le piccole magneti hanno, proporzio-

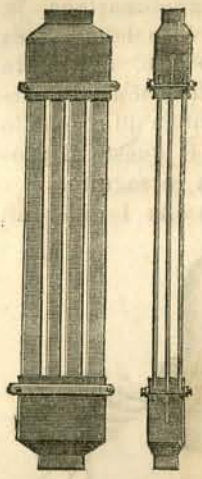


Fig. 361.

nalmente, una forza più grande delle grosse magneti; da ciò l'idea di formare dei *fasci magnetici*, riunendo un certo numero di calamite pei loro poli omonimi. La figura 361 rappresenta un fascio di tal natura. Le magneti, riunite in gruppi di tre, formano i fasci parziali; le due estremità sono armate di masse di ferro dolce, le quali costituiscono i poli del sistema.

La figura 362 rappresenta una calamita a *ferro di cavallo* i di cui poli *N* ed *S* sostengono un'*armatura* in ferro dolce, alla quale è appeso un recipiente destinato a ricevere dei pesi. Aggiungendo ogni giorno un nuovo peso, si può aumentare gradatamente la forza della calamita; ma, cosa curiosa, se l'àncora si stacca, la calamita riprende la sua intensità magnetica iniziale.

In altri tempi si sono tentati molti i mezzi di ottenere delle calamite di gran forza; queste ricerche vennero pressochè abbandonate quando, per mezzo dell'elettricità, si poterono ottenere delle magneti temporarie di una forza, per così dire, illimitata; tali ricerche vennero in questi ultimi tempi riprese con molto successo dal signor Jamin.

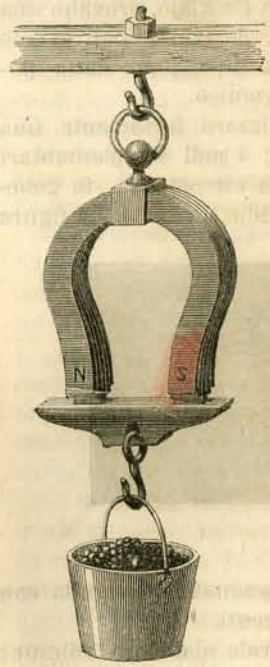


Fig 362.

449. Azione del magnetismo su tutti i corpi. — Da molto tempo si è riconosciuto che il ferro e l'acciajo non sono le sole sostanze sensibili all'azione del magnetismo; il nichelio ed il cobalto possiedono pure questa proprietà. La possibilità di aver oggigiorno delle calamite di una grande potenza per mezzo dell'elettricità, ha permesso di riprendere utilmente lo studio dell'azione del magnetismo sopra i diversi corpi. Si fa perciò uso dell'apparecchio rappresentato dalla figura 363. Esso è composto di due potenti rocchelli *B*, *B*, i di cui nuclei in ferro dolce si ripiegano alla loro parte posteriore e terminano coi pezzi *F*, che possonsi collocare ad una distanza variabile l'uno dall'altro; queste pezzi son mantenuti nella conveniente posizione dai galletti *E*, *E*. Le armature *P* presentano la forma di coni smussati, disposizione questa che presenta il vantaggio di concentrar meglio alle loro estremità la potenza magnetica.

Per studiare l'azione del magnetismo su di una data sostanza, la si foggia in forma di piccola spranga *a b* e la si sospende, per mezzo di un sostegno speciale *R S*, tra i due poli *P*. Se allora si fa passare la corrente e la sostanza è magnetica, si vede l'asticina dirigersi a seconda della linea dei poli; essa forma allora una piccola magnete i di cui poli si dispongono, naturalmente, di contro ai poli di nome contrario della magnete *B*. Se la calamita è abbastanza forte, si trova che tutte le sostanze sono sensibili alla sua azione, ciononostante con una differenza curiosa ed imprevista. Quando la sostanza non è magnetica, l'asticina si dispone in una posizione assiale, vale a dire perpendicolare alla linea dei poli.

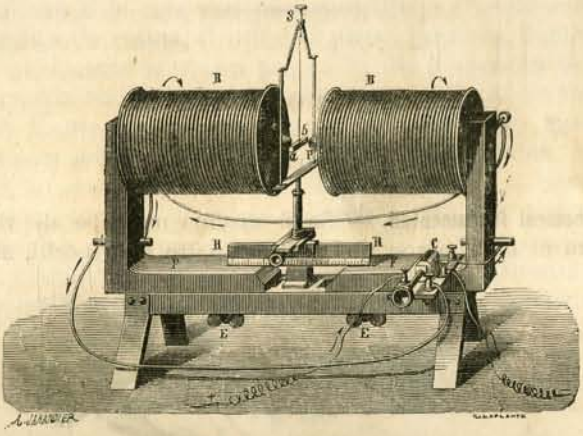


Fig. 263.

Le sostanze che presentano questa particolarità vengono dette *diamagnetiche*. Fra i corpi semplici solidi i soli magnetici sono i seguenti:

Ferro	Manganese	Lantanio
Nichelio	Cromo	Molibdeno
Cobalto	Uranio	Titano

Tutti gli altri sono diamagnetici.

Con alcune modificazioni nel processo usato, si può constatare il magnetismo ed il diamagnetismo nei liquidi ed anche nei gas. Fra i gas, il solo ossigeno è magnetico. Questo fatto risulta dall'osservazione, che le attrazioni presentate dai corpi magnetici riescono più notevoli quando le si misurano nel vuoto che nell'aria, fatto che non può spiegarsi che coll'ammettere un'azione magnetica nel mezzo ambiente.

LIBRO III.

PARTE SECONDA. — ELETTRICITÀ.

CAPITOLO III.

PRIMI FENOMENI ELETTRICI.

450. Fenomeni fondamentali. — Se si strofina un tubo di vetro con una pezza di lana, o con una pelle di gatto ben secchi, si ricono-

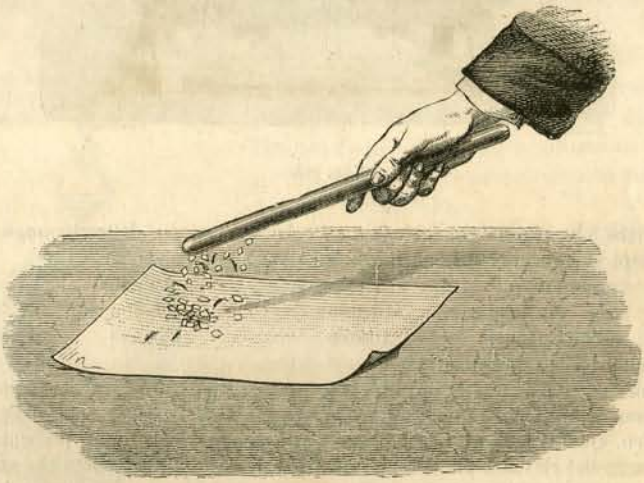


Fig. 364.

sce che il vetro acquista la proprietà di attirare dei corpuscoli leggeri (fig. 364). Ponendo infatti in vicinanza alle parti strofinate dei pezzettini di carta, dei fuscellini di paglia, della segatura di legno, ecc., si vedono questi diversi corpi lanciarsi sul tubo di vetro; qualcuno vi resta aderente, altri ne son respinti, per esser poi di nuovo attirati; ne risultano così diversi movimenti, tanto più pronunciati, in generale, quanto più il tubo è grosso e quanto più vivamente esso venne strofinato.

Quando si pone il tubo a piccola distanza dalla faccia, si sente un impressione simile a quella prodotta dal contatto di una ragnatela. Se si avvicina il dito al tubo, si produce un crepitio particolare e, contemporaneamente, una *scintilla* brillante si slancia tra il dito ed il tubo.

Il tubo di vetro ha dunque acquistato delle proprietà curiose e caratteristiche, in seguito all'azione dello strofinamento; si dice che si è *elettrizzato*, e dicesi *elettricità* la causa alla quale si attribuiscono i fenomeni ora descritti.

Il vetro non è la sola sostanza suscettibile di elettrizzarsi per istrofinamento; la resina, il solfo, le pietre preziose, l'ambra gialla, ecc., presentano la stessa proprietà. Gli è appunto dal nome greco di questa sostanza, ἤλεκτρον, che deriva il vocabolo elettricità.

A prima giunta non sembra che tutti i corpi sieno suscettibili di elettrizzarsi per istrofinamento; infatto se, tenendola in mano, si strofina un'asta di metallo con della lana, non si riesce a comunicarle le proprietà dei corpi elettrizzati. Ma non bisogna perciò concluderne che i metalli non sono atti ad acquistare queste proprietà, giacchè, innestando l'asta di metallo all'estremità di un tubo di vetro (fig. 365) che le serva di manico, si eletrizza il me-

Fig. 365.

tallo in modo assai sensibile, strofinandolo colla lana o colla pelle di gatto. Non si deve dunque ammettere l'antica distinzione dei corpi *idioelettrici* e *anelettrici*, vale a dire, di corpi suscettibili o non suscettibili di elettrizzarsi. Si deve però stabilire fra loro una differenza di un'altra natura, messa la prima volta in evidenza dal fisico inglese Grey nel 1729.

451. Corpi buoni e cattivi conduttori dell'elettricità. — In certe sostanze, quali il vetro, le resine, ecc., lo stato elettrico risiede solamente nei punti nei quali esso venne provocato; in altre, all'opposto, come nei metalli, lo stato elettrico sviluppato in un punto, si propaga immediatamente e si manifesta in tutti i punti della loro superfice. Così, nell'esperienza ora citata, basta elettrizzare la parte di metallo vicina al vetro, perchè i segni dell'elettrizzazione si manifestino immediatamente all'estremità opposta. Le prime sostanze, la resina, il vetro, sono dette *cattive conduttrici dell'elettricità o coibenti.*

I metalli son detti *buoni conduttori.* Un corpo cattivo conduttore prende spesso il nome di *corpo isolante;* un corpo buon conduttore circondato da corpi cattivi conduttori, dicesi *isolato.* Dal punto

di vista dell' elettricità, la esattezza di queste espressioni è evidente.

La conduttibilità elettrica non è però una proprietà assoluta; sono manifeste a questo proposito delle differenze tra un corpo e l' altro, come accade per tutte le altre proprietà fisiche. Sarebbe difficile l' esprimere con numeri il rapporto di conduttività delle differenti sostanze, ma si può stabilire approssimativamente l' ordine secondo il quale devono essere disposte.

I. Corpi conduttori disposti nell'ordine del loro potere conduttore.

Tutti i metalli.	Fluidi animali.	Canape.
Carbone calcinato.	Aqua di mare.	Animali viventi.
Piombaggine.	Aqua di sorgente.	Fiamma.
Acidi concentrati.	Aqua di pioggia.	Fumo.
Acidi allungati.	Neve.	Vapore.
Soluzioni saline.	Vegetali viventi.	Terre e pietre umide.
Minerali metallici.	Lino.	

II. Corpi isolanti disposti nell'ordine della loro facoltà isolante.

Gomma lacca.	Gemme.	Porcellana.
Ambra.	Seta.	Marmo.
Resina.	Capelli.	Canfora.
Solfo.	Lana.	Caoutchouc.
Cera.	Piume.	Creta.
Giavazzo.	Carta secca.	Calce.
Vetro.	Cartapecora.	Fosforo.
Mica.	Cuojo.	Olii.
Diamante.	Legno scaldato.	Ossidi metallici.

ARIA

Il corpo umano è buon conduttore dell'elettricità. Se si batte con una pelle di gatto una persona, collocata su di uno sgabello coi piedi di vetro, essa si elettrizza in modo assai sensibile e da qualunque parte della sua superfice si possono cavare delle scintille.

Quando un corpo conduttore isolato ed elettrizzato vien posto in contatto con un altro conduttore pure isolato, si osserva che, dopo il contatto, ambedue i corpi godono delle proprietà elettriche; lo stato elettrico si è dunque ripartito fra i due corpi. Se il secondo corpo è assai esteso rispetto all' altro, lo stato elettrico di questo si indebolisce notevolmente e può anche annullarsi. È appunto ciò che accade quando si pone un corpo elettrizzato in comunicazione col suolo, il quale può venir considerato come un assieme di conduttori; dopo la comunicazione, il corpo non manifesta più alcun stato elettrico. Da qui il nome di *serbatojo comune* dato alla terra.

Dopo ciò è facile l'intendere perchè non si possa elettrizzare un asta metallica tenuta in mano; l'elettricità man mano che si sviluppa si disperde nel serbatojo comune, per l'intermezzo del corpo.

L'aria va considerata come una sostanza isolante, giacchè l'elettricità può mantenersi, durante un tempo più o meno lungo, alla superfice dei corpi conduttori isolati. Ciò non pertanto, quando l'aria è umida, il suo potere conduttore aumenta notevolmente, ed i corpi conduttori isolati, perdono rapidamente il loro stato elettrico, rendendo così difficili le esperienze.

Bisogna anche osservare che, in queste circostanze, del vapore d'aqua si condensa sui piedi isolanti degli apparecchi e quindi, al disperdimento per parte dell'aria, si aggiunge quello per parte dei sostegni, divenuti umidi e quindi conduttori. Si spiega così la necessità di asciugare diligentemente i supporti con carta o panni

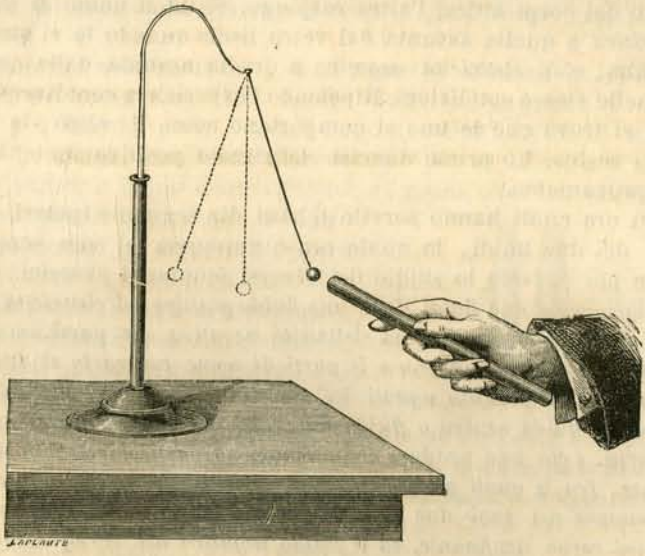


Fig. 366.

caldi, ed anche di porre in mezzo agli apparecchi un piccolo fornello, il quale, scaldando l'aria ambiente, ne diminuisca lo stato igrometrico. In generale è nelle belle e fredde giornate dell'inverno che le esperienze elettriche si possono eseguire colla maggiore probabilità di successo.

452. Ipotesi sull'elettricità. — Per istudiare un po' più addentro i primi fenomeni elettrici si fa uso di un piccolo apparecchio detto *pendolo elettrico*.

È questo formato (fig. 366) da una sferetta di midollo di sambuco, sospesa col mezzo di un filo di seta ad un supporto isolante. Quando si avvicina un tubo di vetro elettrizzato alla sferetta isolata, questa vien attirata; ma, dal momento che essa ha toccato il

vetro, all'attrazione succede immediatamente una ripulsione, che si mantiene fintanto che la sferetta conserva il suo stato elettrico. La stessa esperienza può ripetersi con un bastone di resina, o con qualsiasi altro corpo elettrizzato.

Se, quando il pendolo elettrico è respinto dal vetro, si avvicina la resina elettrizzata, questa lo attira vivamente; se, inversamente, si avvicina al pendolo elettrico, respinto dalla resina, un bastone di vetro elettrizzato, si ha pure una viva attrazione. Questi fenomeni mostrano ad evidenza come l'elettricità sviluppata sulla resina non è della stessa natura di quella sviluppata sul vetro, come esse abbiano, per così dire, delle proprietà opposte, giacchè ciò che uno dei corpi attira, l'altro respinge. Si dà il nome di *elettricità positiva* a quella assunta dal vetro liscio quando lo si strofina colla lana, e di *elettricità negativa* a quella assunta dalla resina, posta nelle stesse condizioni. Ripetendo l'esperienza con diverse sostanze, si trova che le une si comportano come il vetro, le altre come la resina. Le prime diconsi elettrizzate positivamente, le altre negativamente.

I fatti ora citati hanno servito di base alla seguente ipotesi, detta ipotesi dei due fluidi, la quale ora è ammessa al solo scopo di rendere più agevole lo studio dei diversi fenomeni elettrici.

Si suppongono due fluidi detti, uno fluido positivo od elettricità positiva, l'altro fluido negativo od elettricità negativa. Le parti omogenee di questi fluidi si respingono e le parti di nome contrario si attirano. La riunione di quantità uguali dei due fluidi di nome contrario, costituisce del fluido neutro o fluido naturale, che si suppone esistere in ogni corpo. e che non produce alcun fenomeno particolare. Sotto diverse influenze, fra le quali puossi citare lo strofinamento, il fluido neutro si decompone nei suoi due elementi; il fluido positivo, per esempio, passa nel corpo strofinante, ed il fluido negativo nel corpo strofinato. Si devono alle mutue attrazioni e ripulsioni dei fluidi elettrici i diversi movimenti che si osservano nei corpi elettrizzati. L'estensione di questo trattato ed il suo scopo, che è quello di presentare i fatti e le leggi che li governano, senza entrare nella discussione delle relative teorie, non ci permettono di far cenno delle diverse teorie, antiche e moderne, proposte per ispiegare i fenomeni elettrici. Le antiche teorie basate sui fluidi ebbero corso sinora, sembrando che con esse riesca facilitata l'esposizione dei fatti. D'altra parte, le nuove teorie sull'elettricità non sono finora abbastanza ben definite, perchè si possa fondare su di esse un nuovo linguaggio nella spiegazione dei fenomeni elettrici (1).

(1) Solamente si è creduto opportuno di sostituire alle espressioni: *fluido positivo*, *fluido negativo*, adoperate dall'autore, rispettivamente le altre: *elettricità positiva*, *elettricità negativa*, come è d'uso nelle nostre scuole.

NOTA DEL TRADUTTORE.

453. Stato elettrico di due corpi strofinati fra di loro. — Quando si cerchi la natura dello stato elettrico posseduto da due corpi che vennero strofinati l'uno contro l'altro, si osserva, ed è questa una regola generale che non patisce eccezioni, che i due corpi riescono elettrizzati in modo differente; vale a dire che, se si affacciano i corpi ad un pendolino, preventivamente elettrizzato, uno di essi lo attira e l'altro lo respinge. A questa esperienza si può dare una forma curiosa. Due persone essendo poste sopra sgabelli isolati, una di esse batte l'altra con una pelle di gatto; dopo tale operazione le due persone si trovano elettrizzate: quella che teneva la pelle di gatto è elettrizzata negativamente, l'altra positivamente; da ognuna di esse si possono trarre, delle scintille, avvicinando a loro le dita.

La natura particolare dello stato elettrico assunto da un corpo, dipende evidentemente dalla natura della sua superfice. Si prendano, per esempio, due dischi, l'uno di vetro, l'altro di metallo (fig. 367), muniti ciascuno di un manico ben isolante, e si strofinino vivamente l'uno contro l'altro, si vedrà che il metallo si elettrizza positivamente ed il vetro negativamente; se si ripete la prova dopo di aver coperto il metallo con pelle di gatto, il vetro si elettrizzerà invece positivamente. In generale, l'elettricità negativa si manifesta sul corpo la di cui temperatura si eleva maggiormente nello strofinamento. Nella serie seguente, i corpi sono disposti in tal ordine, che ciascuno di essi si elettrizza positivamente strofinandolo con quelli che lo precedono, e negativamente strofinandolo con quelli che lo seguono.

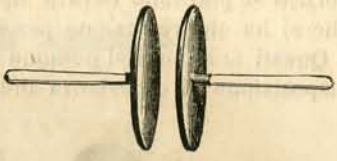


Fig. 367.

Pelle di gatto.	Piume.	Seta.
Vetro liscio.	Legno.	Gomma lacca.
Stoffa di lana.	Carta.	Vetro smerigliato.

454. Leggi delle attrazioni e delle ripulsioni elettriche. — Coulomb ha cercato (vedi pag. 417) le leggi secondo le quali accadono le attrazioni e le ripulsioni tra i corpi elettrizzati di piccole dimensioni. Ecco l'enunciato dei risultati ai quali Coulomb venne condotto dalle sue esperienze in proposito:

1.° *La forza ripulsiva od attrattiva varia in ragione inversa del quadrato della distanza fra i corpi elettrizzati.*

2.° *Le forze ripulsive od attrattive tra due corpi elettrizzati, sono proporzionali alle cariche elettriche di questi corpi.*

CAPITOLO IV.

ELETTRIZZAZIONE PER INFLUENZA. DISTRIBUZIONE DELL'ELETTRICITA' SUI CORPI CONDUTTORI.

455. Elettrizzazione per influenza. — Si son visti precedentemente due modi di elettrizzazione; la comunicazione diretta con un corpo elettrizzato e lo strofinamento; non sono però questi i soli, anzi, in generale si può dire che, ogniqualvolta, per una causa qualunque, si trovi distrutto l'equilibrio molecolare, si ha manifestazione delle due elettricità. Perchè del resto abbia luogo questa rottura d'equilibrio basta la presenza di un corpo elettrizzato. Se infatti si avvicina un corpo conduttore isolato alla macchina elettrica, quando la distanza sia abbastanza piccola, si manifesteranno sul conduttore i segni dell'elettrizzazione e da ciascun punto della sua superfice si potranno cavare delle scintille. In questo caso si dice che si ha elettrizzazione per *influenza* od *induzione*.

Questi fenomeni si possono facilmente analizzare per mezzo della disposizione di esperienza indicata dalla figura 368.

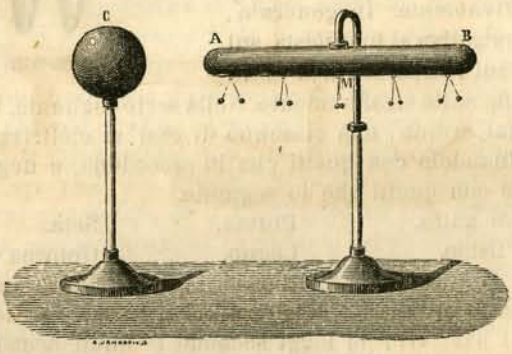


Fig. 368.

C è un conduttore sferico isolato, elettrizzato positivamente, per esempio; in presenza di questa sfera si pone un conduttore cilindrico isolato *A B*, sotto al quale sono appesi, in diversi punti, dei doppi pendolini conduttori, a sferette di midollo di sambuco. Quando si avvicina il cilindro alla sfera, si vedono i pendolini divergere e, di più, si osserva che la divergenza è massima alle estremità e va decrescendo da queste verso il mezzo, dove riscontrasi una linea *M*, per la quale la divergenza è nulla. Questa linea neutra non è pre-

cisamente nel mezzo del cilindro, ma più vicina all'estremità A; di più, l'elettrizzazione è più forte in A che non in B.

È poi facile di assicurarsi che le due metà del cilindro sono elettrizzate in senso contrario; l'estremità A è elettrizzata negativamente, l'estremità B positivamente. Infatti, avvicinando gradatamente un bastone di resina elettrizzato al pendolo situato in A, questo vien respinto, mentre il pendolo in B è attirato.

Questi due stati elettrici si manifestano dunque su due parti diverse del cilindro, separate dalla linea neutra e dicesi perciò che il cilindro è *polarizzato* elettricamente per induzione. Siccome l'influenza ha luogo ad una distanza più piccola, e quindi con maggior intensità, sull'estremo A che non sull'estremo B, così la linea neutra si trova più verso l'estremità più vicina al conduttore C, che non all'estremità opposta.

Se si avvicina il cilindro alla sfera induttrice, la divergenza dei pendolini aumenta; diminuisce se lo si allontana; finalmente, scompare ogni traccia di stato elettrico se si toglie la sfera o la si pone in comunicazione col suolo.

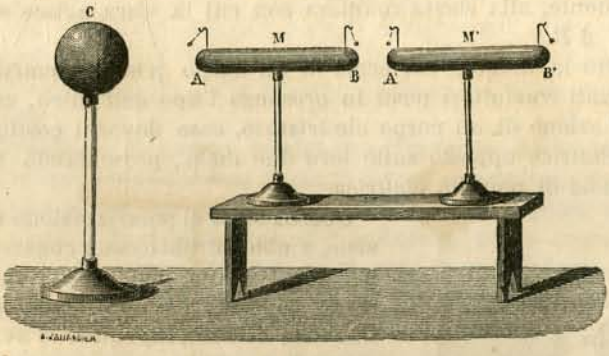


Fig. 369.

Se mentre il cilindro è sottoposto all'influenza, lo si pone in comunicazione col suolo, si vedono immediatamente ricadere i pendolini corrispondenti alla parte B, mentre si manifesta un'aumento di divergenza nei pendolini situati in A.

Questo fatto si può spiegare facilmente; infatti, la comunicazione col suolo fa disperdere l'elettricità respinta; ma, appunto per questo fatto, l'azione induttrice della sfera, la quale era equilibrata dall'attrazione reciproca delle due elettricità separate, può nuovamente manifestarsi; si ha dunque un'accrescimento di elettricità in A. L'elettricità negativa si trova d'altronde sola sul cilindro; la linea neutra è spinta al di là dei limiti del corpo e, se, dopo aver soppressa la comunicazione col suolo, si toglie la sfera induttrice,

il cilindro rimane elettrizzato negativamente, come se fosse stato posto in contatto con un corpo elettrizzato, o fosse stato strofinato.

Importa assai di osservare come questo risultato è lo stesso, qualunque sia il punto del cilindro posto in comunicazione col suolo; è sempre l'elettricità respinta quella che scompare; il corpo non possiede allora che l'elettricità di nome contrario a quella del corpo influenzante; ciò nonostante possono darsi delle differenze di dettaglio nella distribuzione dell'elettricità, senza però che il senso del fenomeno ne venga cambiato.

Se si mette in presenza di un conduttore elettrizzato, non un solo conduttore, ma una serie di conduttori AB, $A'B'$, ecc. (fig. 369), sopra ciascuno di essi si manifesta una disposizione elettrica analoga a quella di cui si è parlato, ma di intensità decrescente. Sul cilindro $A'B'$, per esempio, si ha l'elettricità positiva in B' e quella negativa A'; di più, l'elettrizzazione vi è più forte di quella che si produrrebbe sotto la sola azione del conduttore sferico, quando fosse tolto il conduttore cilindrico AB. Questa osservazione prova che l'estremità di ciascun conduttore agisce sul sul seguente, alla stessa maniera con cui la sfera agisce sul conduttore AB.

In fatto le diverse molecole di un corpo possono considerarsi come tanti conduttori posti in presenza l'uno dell'altro, così che, sotto l'azione di un corpo elettrizzato, esse devonsi costituire in istato elettrico opposto sulle loro due metà, presentando appunto una specie di polarità elettrica.

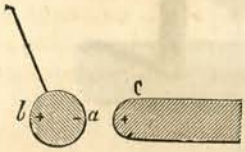


Fig. 370.

Questo stato di polarizzazione non persiste, e non potrebbe esser constatato che nei corpi buoni conduttori; nei corpi cattivi conduttori le cose devono passarsi in modo diverso, in seguito si avrà occasione di mostrare come questa polarizzazione sembri una condizione necessaria all'elettrizzazione per influenza.

456. Attrazioni e ripulsioni elettriche. — I fenomeni di attrazione e di ripulsione primativamente osservati fra i corpi elettrizzati, derivano dallo sviluppo di elettricità per influenza.

Supponiamo, per esempio, che si presenti un corpo elettrizzato positivamente C (fig. 370) ad un pendolo elettrico isolato, allo stato naturale; la sferetta del pendolino si elettrizza secondo le leggi ora esposte, così che, l'elettricità negativa si trova specialmente in a e la positivo in b; si avrà dunque un'attrazione fra le elettricità contrarie ed una ripulsione fra le omonime; quest'ultima agendo a maggior distanza della attrattiva, sarà minore di questa; la forza attrattiva sarà dunque predominante e la sferetta verrà attirata. Si noti che

è tra le elettricità e non tra i corpi che hanno luogo le azioni attrattive e ripulsive; le elettricità, in causa del potere isolante dell'aria, o della sua pressione, o di un difetto di conduttività, sono trattenute alla superfice dei corpi con una forza più o meno considerevole e, di conseguenza, esse trascinano nel loro movimento i corpi sui quali si trovano, purchè questi abbiano una massa abbastanza piccola. Se la sferetta del pendolino è in comunicazione col suolo, l'elettricità respinta si sperde nel serbatojo comune e l'attrazione riesce più viva, giacchè essa non è contrastata da alcuna forza ripulsiva.

Se il pendolo fosse preventivamente elettrizzato, si avrebbe attrazione o ripulsione a seconda della senso di elettrizzazione; ma in ogni caso, ed indipendentemente da questa azione, si produce sempre l'azione dell'influenza, la quale ha per risultato costante una attrazione. Da ciò segue che, allorquando il corpo agente è fortemente elettrizzato e lo si avvicina bruscamente ad una piccola distanza dal pendolino, si ha sempre attrazione. È questa un'osservazione che è necessario di aver sempre presente quando si voglia studiare la natura dello stato elettrico di un corpo, per mezzo del pendolino elettrico o degli elettroscopi; è necessario di presentare il corpo elettrizzato da lontano e di avvicinarlo poi gradualmente, così da poter afferrare il senso del *primo* movimento prodottosi.

457. Scintilla. — È questo ancora un fenomeno derivante dall'elettrizzazione per influenza. Quando ad un conduttore isolato ed elettrizzato si va avvicinando un conduttore alla stato naturale, questo conduttore si elettrizza per influenza, ed al momento del contatto si ha neutralizzazione di quantità corrispondenti delle due elettricità; le cose si passano come se vi fosse stato trasmissione di elettricità dall'un corpo all'altro.

Ordinariamente, prima che il contatto abbia luogo, si produce una scintilla tra i due corpi e si riscontra in seguito che la ripartizione dell'elettricità è prodotta da questa scintilla, come lo sarebbe stato dal contatto. Da questa osservazione risulta che la scintilla non è altro che la neutralizzazione delle due elettricità di nome contrario, attraverso all'aria, l'attrazione mutua avendo vinta la resistenza che si opponeva alla loro riunione.

La scintilla elettrica è senza dubbio il fenomeno il più curioso presentato dai corpi elettrizzati: esso eccitò, nei primi che lo osservarono (Grey, Dufay), una ammirazione non priva di paura; anche oggigiorno, pressochè un secolo dopo l'invenzione della macchina elettrica, non si manca di seguire con viva curiosità le diverse esperienze che possonsi eseguire con questo apparecchio. In seguito verranno descritte le diverse macchine elettriche, ed

allora si faranno conoscere anche le proprietà caratteristiche della scintilla.

458. Elettroscopi. — Gli elettroscopi sono apparecchi destinati a constatare lo stato elettrico di un corpo ed a determinarne la spece. Il pendolino elettrico isolato è un vero elettroscopio. Se infatti si avvicina un corpo alla sferetta e vi sia attrazione, ciò vuol dire che il corpo è elettrizzato. Onde conoscere di qual spece sia l'elettricità, si lascia accadere il contatto della sferetta col corpo elettrizzato, dopo di che essa vien respinta; mentre ha luogo questa ripulsione le si avvicina un bastone di vetro elettrizzato; se ha luogo attrazione, vuol dire che la sferetta è elettrizzata negativamente e, per conseguenza, tale è anche lo stato l'elettrico del corpo. Si arriverebbe alla conseguenza opposta, se si manifestasse ripulsione. La sferetta del pendolino trovandosi nell'aria, il disperdimento è sovente assai rapido, e l'esperienza ora citata diventa allora assai incerta; gli elettroscopi propriamente detti sono di uso più sicuro.

Fig. 371.

L'elettroscopio a foglie d'oro, per esempio, è formato da una campanella di vetro (fig. 371), poggiante su di piatto di metallo. Alla parte superiore della campanella si trova un' apertura, attraversata da un' asticina metallica terminata alla parte esterna con un bottone, e portante all'interno due foglioline d'oro. L'asticina metallica è perfettamente isolata per mezzo di un tubo di vetro e con ceralacca, che la separano dalle pareti dell' apertura; spesso la parte superiore della campana vien rivestita da una vernice isolante.

Alle due fogliette si potrebbero sostituire due paglioline, o due fili di lino, portanti ciascuno una piccola sferetta di midollo di sambuco; si avrebbero così l'*elettroscopio a pagliette* e l'*elettroscopio a sferette di midollo di sambuco*, i quali non differiscono veramente da quello sopra descritto.

Per conoscere se un corpo è elettrizzato, lo si avvicina al bottone dell'elettroscopio; in causa dell'elettrizzazione per influenza, le foglioline si trovano elettrizzate omonimamente e quindi sono obbligate a divergere per la muta ripulsione. In quanto alla spece dell' elettricità posseduta dal corpo, la si riconosce facilmente nel seguente modo: mentre le fogliette divergono sotto l' influenza del

corpo, si tocca il bottone di ottone col dito; l'elettricità omonima a quella del corpo si sperde nel suolo e l'elettroscopio non conserva che l'elettricità di nome contrario a quella del corpo; si toglie allora quest'ultimo; l'elettricità si comunica alle fogliette e le fa divergere; se allora si avvicina gradatamente un corpo elettrizzato in senso noto, per esempio un tubo di vetro, se la divergenza aumenta vorrà dire che le fogliette sono elettrizzate positivamente; se, al contrario, la divergenza diminuisce, ciò vuol dire che lo stato elettrico delle fogliette è il negativo e, di conseguenza, quello del corpo è il positivo.

L'elettroscopio a foglie d'oro essendo di una grande sensibilità, si deve aver cura di avvicinare gradatamente e con precauzione il corpo elettrizzato, onde evitare la causa di errore segnalata al paragrafo 456; si prevengono in questo modo i movimenti bruschi delle fogliette, i quali potrebbero esser causa della loro rottura. Potrebbe anche accadere che le fogliette, divergendo troppo, venissero ad applicarsi sulle pareti della campana, dalle quali non le si potrebbero staccare che con pericolo di romperle; ad evitare questo inconveniente si dispongono due piccole colonne metalliche comunicanti col suolo; se le foglie divergessero troppo, esse toccherebbero le colonnette e, scaricandosi, ricadrebbero.

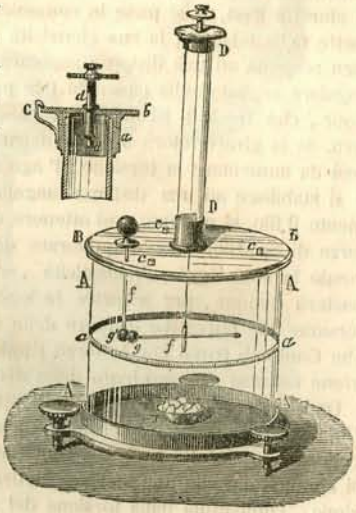


Fig. 372.

459. Bilancia di Coulomb. — Coulomb, al quale si devono in gran parte i lavori sui quali si è fondata la citata teoria fisica dell'elettricità, si è servito, nelle sue ricerche, di un interessante apparecchio, al quale si deve anche oggigiorno ricorrere, quando si debbano misurare delle intensità di forze elettriche. Questo apparecchio, fondato sulle leggi della elasticità di torsione, ha ricevuto dal suo inventore il nome di *bilancia di torsione*. Eccone la descrizione, in seguito si faranno conoscere alcune delle applicazioni fattene da Coulomb.

L'apparecchio è formato da una cassa di vetro di forma paralleloepipeda o cilindrica *A A* (fig. 372), il di cui coperchio porta un tubo cilindrico verticale *D D*, terminante alla parte superiore con una viera cilindrica *a*, sulla quale è segnato un punto di riscontro. Una seconda viera *b* può girare sulla prima e porta alla sua superfice superiore un quadrante diviso in 360 parti uguali. Al centro della viera *b* è praticata un'apertura, nella quale penetra a strofinamento dolce un piccolo cilindro di metallo *d*, terminato inferiormente da una pinzetta. Da questa disposizione risulta che, girando, la viera *b* trascina nel suo movimento il cilindro cen-

trale; questo poi può ricevere un movimento proprio indipendente da quello della viera. L'insieme di questi pezzi costituisce ciò che dicesi il *micrometro*. Un filo metallico finissimo, afferrato dalla pinzetta pella sua parte superiore, porta inferiormente una piccola massa metallica attraversata da un finissimo ago in gomma lacca, portante ad una estremità una sferettina conduttrice g. Nel piano orizzontale che contiene l'ago son tracciate sulla superfice della cassa cilindrica di vetro, delle divisioni angolari. Finalmente, di contro alla divisione 0 si trova una sferetta conduttrice g', sostenuta da un'asticina in gomma lacca f', passante attraverso ad un'apertura praticata nel coperchio della cassa.

460. Leggi delle ripulsioni elettriche. — Per mostrare l'uso dell'apparecchio nelle ricerche elettriche, diremo del modo seguito da Coulomb per determinare con qual legge variano le attrazioni, e specialmente le ripulsioni elettriche, col variare della distanza tra i corpi elettrizzati.

Posto il punto di riscontro della viera superiore a coincidere collo 0 del quadrante, si fa girare la parte centrale del micrometro, così da porre in contatto la sferetta mobile con quella fissa, senza che vi sia torsione nel filo. Si toglie allora la sferetta fissa, la si pone in comunicazione con un corpo elettrizzato e la si rimette nella bilancia; la sua elettricità si comunica alla sferetta mobile, questa vien respinta ad una distanza angolare, che si misura per mezzo della graduazione angolare segnata sulla cassa. In tale posizione si ha equilibrio tra la forza di torsione, che tende a ricondurre l'indice alla posizione iniziale, e la forza ripulsiva. Si fa girare allora il micrometro superiore nel senso opposto alla ripulsione, così da aumentare la torsione; l'ago si avvicina alla sua posizione di equilibrio e si stabilisce ad una distanza angolare minore della prima. Torcendo nuovamente il filo, si possono così ottenere diverse posizioni di equilibrio, nelle quali le forze di ripulsione sono equilibrate dalle forze di torsione. Ma quest'ultime, secondo le note leggi sull'elasticità, sono proporzionali agli angoli di torsione; basterà dunque, per scoprire la legge cercata, comparare gli angoli totali di torsione alle rispettive distanze delle sferette. È appunto operando in questo modo che Coulomb trovò che le forze ripulsive tra i corpi elettrizzati *variano in ragione inversa del quadrato delle distanze.*

Onde determinare la legge delle attrazioni si può operare in modo analogo. Dopo di aver posto il micrometro allo 0, si fa girare il pezzo centrale, così da collocare la sferetta mobile ad una certa distanza angolare dalla sfera fissa; quindi si comunicano alle due sferette elettricità differenti. Si produce allora una attrazione, combattuta dalla torsione del filo e, facendo variare questa torsione, si potranno ottenere diverse posizioni di equilibrio. Comparando le diverse distanze alle corrispondenti torsioni, si riconosce che la legge è la stessa di quella delle ripulsioni. Ciò nonostante le esperienze, in questo caso, presentano grandi difficoltà e non riescono possibili che quando le sferette sono notevolmente elettrizzate.

461. Legge delle cariche elettriche. — La grandezza delle attrazioni e delle ripulsioni dipendono evidentemente dall'intensità dell'eletrizzazione, o da ciò che si può dire la *carica elettrica*. Si supponga che, in causa dell'azione della forza ripulsiva, le due sferette sien mantenute ad una determinata distanza angolare e che la forza totale di torsione sia A. Si tocchi la sferetta fissa con una sfera esattamente uguale ed isolata; si deve ammettere come evidente che l'elettricità si ripartirà in parti uguali fra le due sfere, così che, dopo il contatto, la sfera fissa non possiederà che la metà della sua eletricità iniziale. Le due sfere dell'apparecchio si avvicinano; diminuendo la torsione per mezzo del micrometro,

si può ricondurre la deviazione al valore iniziale; si riconosce allora che la torsione totale è ridotta a metà. Le stesse circostanze si riproducono, se, invece di toccare la sfera fissa, si tocca quella mobile, così che se la carica di una delle sfere varia in un certo rapporto, la forza attrattiva o la ripulsiva varia nello stesso rapporto. Se ne deduce che *le attrazioni e le ripulsioni, sono proporzionali alle cariche elettriche.*

462. Distribuzione dell'elettricità alla superfice dei conduttori. — L'elettricità si porta esclusivamente alla superfice dei corpi conduttori. Questo fatto risulta implicitamente dalla osservazione fatta spesso da Coulomb, che, cioè, una sfera cava si carica di un'egual quantità di elettricità di una sfera massiccia di ugual diametro. Si può

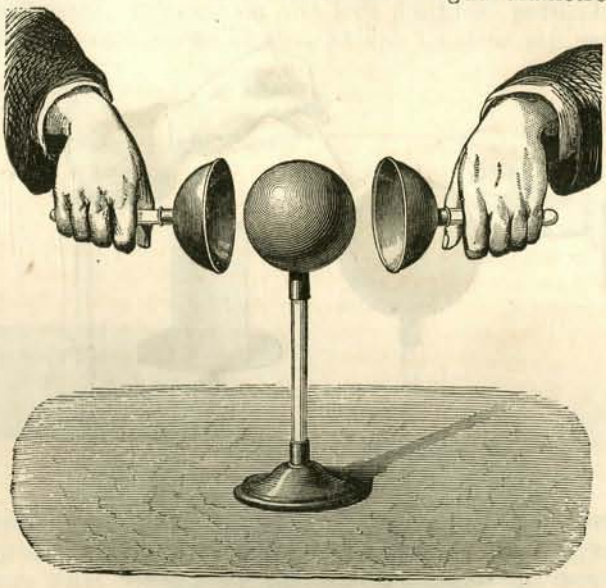


Fig. 373.

del resto dimostrare direttamente questo fatto per mezzo dell'esperienza seguente, indicata da Biot:

Una sfera metallica, isolata ed eletrizzata, vien racchiusa esattamente fra due emisferi muniti di manici isolanti (fig. 373). Levando rapidamente gli emisferi si constata, avvicinandoli ad un pendolo elettrico, come essi sieno elettrizzati, mentre la sfera non presenta stato elettrico sensibile. Si osservi però, che raramente questa esperienza è nettamente decisiva, e spesso la sfera rimane elettrizzata in modo assai sensibile. Ciò dipende dal fatto che, malgrado la rapidità colla quale si tolgono gli emisferi, è assai difficile che non vi sia un momento nel quale la sfera si trova in contatto con essi per qualche punto, mentre nel resto è libera; si ha

allora un sistema di forma particolare, del quale la sfera fa parte, e sulla superfice del quale l'elettricità viene a distribuirsi. L'esperienza seguente è più sicura.

Si elettrizza una sfera cava isolata, munita di un orificio alla sua parte superiore (fig. 374); se ne tocca poi la superfice interna con un piccolo disco di carta dorata, sostenuto da un asticina in gomma lacca, vale a dire coll' apparecchio detto *piano di prova*. Questo non assume alcun stato elettrico e non manifesta alcuna azione sul pendolino elettrico o sull'elettroscopio. Se invece si applica il piano di prova sopra una parte qualunque della superfice

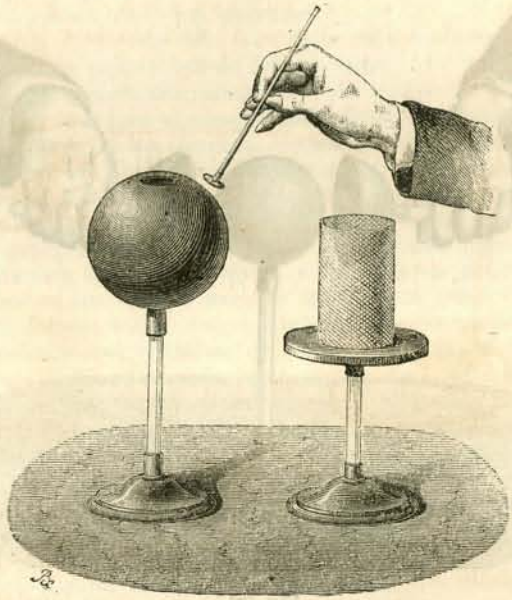


Fig. 374.

esterna, lo si trova elettrizzato dopo il contatto e capace di attirare i corpuscoli leggeri. Faraday eseguiva la stessa esperienza facendo uso di un cilindro in rete metallica, poggiante su di un disco di metallo isolato. Faraday elettrizzava il disco e non riusciva mai, toccando col piano di prova la superfice interna dell' apparecchio, a riscontrare la menoma traccia di elettrizzazione.

Gli è pure a Faraday che si deve la seguente esperienza: Intorno ad un'anello metallico portato da un piede isolante, si attacca una specie di borsa conica fatta con un sottile tessuto di lino (fig. 375), sostanza questa, buona conduttrice dell' elettricità; due fili di seta

attaccati al vertice del cono permettono di arrovesciare la borsa, così che la superfice interna diventa esterna e viceversa. Elettrizzando questo apparecchio, col piano di prova lo si trova esclusivamente elettrizzato alla superfice esterna.

Si deve dunque figurarsi l'elettricità di un corpo come formante uno strato, limitato, all'esterno dalla superfice del corpo, ed all'interno da un'altra superfice, lontana da quella di una piccolissima quantità. Nulla permette di supporre *a priori* che questo strato debba essere regolare; è anzi naturale l'ammettere che, salvo nel caso di una sfera, non si riscontrerà questa regolarità, che i diversi punti della superfice presenteranno una eletrizzazione, una carica differente, subordinata alla loro posizione particolare. Ad una carica, o come anche si dice, ad una tensione più grande (1),

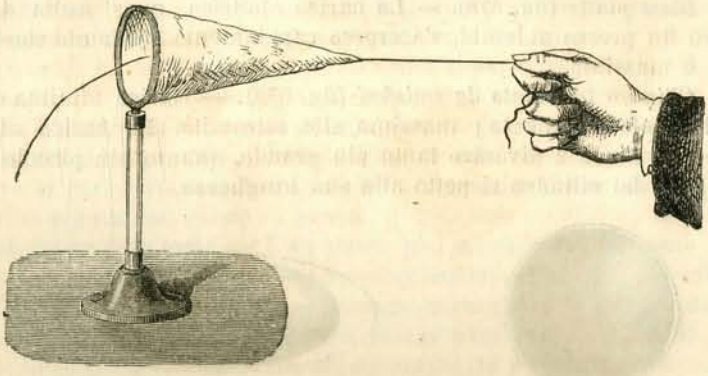


Fig. 375.

corrisponde certamente una maggiore quantità di elettricità; a questo proposito si possono porre le due supposizioni seguenti: o lo spessore dello strato è uguale in tutte le parti e la densità vi è maggiore nei punti che presentano la maggiore tensione; oppure

(1) *Tensione elettrica* è lo *sforzo* col quale l'elettricità di un corpo si rende manifesta e tende a disperdersi. Si può quindi dedurre la tensione elettrica corrispondente ai diversi punti di un corpo, dalla divergenza prodotta negli elettrometri, ed anche dalla distanza alla quale scocca la scintilla fra il corpo elettrizzato ed un conduttore comunicante col suolo (*spinterometro*).

Carica elettrica di un corpo è la *quantità* di elettricità che in esso si manifesta operativa, vale a dire in istato di tensione.

Capacità elettrica poi di un corpo, è la sua attitudine a ricevere una carica più o meno grande e dipendente, come si vedrà piu sotto, dalla estensione e e forma della sua superfice.

I vocaboli, tensione elettrica e carica elettrica indicano quantità che variano, è vero, sempre nel medesimo senso, ma non devonsi perciò considerare come sinonimi. NOTA DEL TRADUTTORE.

la densità è la stessa in tutte le parti e la tensione dipende invece dallo spessore dello strato. Non v' ha effettivamente interesse a formarsi un' opinione su questo punto particolare dell' ipotesi; è invece assai interessante di rendersi conto dell'influenza della forma del corpo, sulla ripartizione della carica elettrica alla sua superfice. Coulomb ha assai felicemente fatto uso della sua bilancia per risolvere questa importante quistione, ed è arrivato a risultati dei quali è utile l'aver conoscenza.

1.° *Sfera* (fig. 376). — La carica elettrica è uguale su tutti i punti della sua superfice.

2.° *Elissoide allungato* (fig. 377). — La carica è massima alle estremità del grande asse, e minima alle estremità del piccolo asse; di più, il rapporto fra queste due cariche è tanto più grande, quanto più l'elissoide è allungato.

3.° *Disco piatto* (fig. 378). — La carica elettrica, quasi nulla dal centro fin presso ai lembi, s'accresce rapidamente sui lembi stessi, dove è massima.

4.° *Cilindro terminato da emisferi* (fig. 379). — Carica minima ed assai debole nel mezzo; massima alle estremità. La carica alle estremità tende a divenire tanto più grande, quanto più piccolo è il raggio del cilindro rispetto alla sua lunghezza.

Fig. 376.

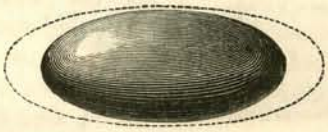


Fig. 377.

5.° *Sfere in contatto.* — Nel caso di sfere uguali, la carica, nulla al punto di contatto, riesce assai debole fino a 30° da questo punto, cresce rapidamente da 30° a 60°; meno rapidamente da 60° a 90°,

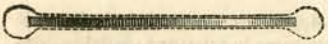


Fig. 378.

Fig 379.

ed in un modo insensibile da 90° a 180°. Quando le sfere sono disuguali, la carica in un punto qualunque della piccola sfera, è maggiore che nel punto simile della più grande; quando una delle sfere diventa di mano in mano più piccola, il rapporto delle cariche alle estremità della linea dei centri tende a divenire uguale a 2.

463. Metodo di esperimentazione. — I risultati precedenti furono ot-

tenuti da Coulomb nel modo seguente: Coulomb applicava il piano di prova sopra uno dei punti del corpo elettrizzato, e lo poneva poi nella bilancia di torsione in luogo della sfera fissa; alla sfera mobile si era comunicata dell'elettricità di ugual natura di quella del corpo. Si produceva così una ripulsione; misurava, per mezzo del micrometro, la torsione necessaria a mantenere le due sferette ad una distanza determinata. Coulomb ripeteva in seguito l'esperienza per un altro punto, ed il rapporto delle torsioni necessarie per mantenere le sferette sempre ad una medesima distanza, forniva il rapporto delle cariche nei punti considerati. Si può infatti ammettere che il piano di prova, posto sul corpo, tenga esattamente luogo del corrispondente elemento di superfice e che, quando lo si leva, esso trasporti con sè appunto la totalità dell'elettricità posseduta da quell'elemento. Nella sua azione sulla sferetta mobile, darà quindi luogo ad una ripulsione, la cui grandezza può servire di misura alla carica del punto toccato.

Coulomb ha anzi dimostrato, con una esperienza diretta, la legittimità di questa conclusione. Misurò, col processo indicato, la carica elettrica in un punto di una sfera isolata elettrizzata. Toccò in seguito la sfera con un' altra sfera ad essa uguale, così da ridurre la carica iniziale a metà; tale fu appunto l'indicazione fornita in seguito dal piano di prova.

464. Potere delle punte. — Una punta può considerarsi, o come l'estremità di un cilindro di raggio piccolissimo, o come l'estremità di una serie di sfere di diametro sempre decrescente; in qualunque caso, si capisce che la carica vi dev' essere assai grande. È dunque lecito il pensare che, in generale, la resistenza dell' aria verrà vinta e che quindi l' elettricità si disperderà dalla punta; è appunto questo fatto quello che costituisce il *potere delle punte*. Si osserva infatti che, se un conduttore isolato presenta delle punte, esso non conserva l'elettricità che durante un tempo brevissimo. Gli è per questo motivo che tutti gli apparecchi elettrici si fanno terminati da parti sferiche.

465. Disperdimento dell' elettricità. — Quando un conduttore isolato ed elettrizzato viene abbandonato a sè stesso, l' elettricità poco a poco si disperde e, dopo un certo tempo, variabile secondo i casi, esso non presenta più alcun segno di elettrizzazione.

La causa di questo disperdimento è complessa; si ha dapprima la propagazione per mezzo dei sostegni, i quali non sono mai completamente isolati e possono, di più, rivestirsi di uno strato di umidità proveniente dall'aria. Il disperdimento può pure accadere nell'aria, anche considerata come corpo isolante; le molecole d'aria venendo successivamente in contatto col corpo elettrizzato, si elettrizzano a sue spese, e sono poi da esso respinte, portano con sè

una parte della carica. È sopratutto all' umidità dell' aria che bisogna attribuire il disperdimento; quando questa umidità è appena un po' considerevole, le esperienze diventano affatto impossibili. Invece, in una campana contenente dell'aria completamente secca, un corpo può rimanere elettrizzato per un tempo abbastanza considerevole.

Dalle ricerche di Coulomb risulta che il potere isolante dei corpi cattivi conduttori, aumenta notevolmente col diminuire dello spessore; cosicchè si potrà sempre prenderli abbastanza esili da ritenere completo l' isolamento, o, almeno, tale che non abbia a verificarsi, per parte dei sostegni, un disperdimento maggiore di quello che si ha per parte dell' aria. In quanto al disperdimento per parte dell'aria, esso dipende da troppe cause perchè sia possibile, almeno nello stato attuale della scienza, di formulare in proposito una legge precisa.

Coulomb, osservando in circostanze speciali il decrescimento della forza ripulsiva delle due sferette della sua bilancia, notò che la grandezza di questo decrescimento era, in ogni momento, proporzionale alla forza ripulsiva. Questa legge, affatto analoga a quella di Newton sul raffreddamento, non si verifica in modo generale, specialmente quando le sferette sono vicine l'una all'altra.

La forza elastica dell'aria ambiente ha un' importante influenza sul disperdimento. A seconda che essa aumenta o diminuisce, la carica che un conduttore può assumere, aumenta o diminuisce essa pure ed in modo proporzionale; nel vuoto, per esempio, è impossibile di mantenere qualunque carica, e qualunque traccia di elettrizzazione scompare. D'altra parte, questa carica compatibile colla densità dell'aria, si dissipa tanto più lentamente, quanto meno grande è la forza elastica dell'aria.

CAPITOLO V.

MACCHINE ELETTRICHE.

466. Macchine elettriche. — La prima macchina elettrica è dovuta ad Ottone di Guericke, lo stesso a cui è dovuta, come si è detto, la macchina pneumatica. La macchina di Ottone di Guericke era formata da un globo di solfo, attraversato da un asse, al quale una persona comunicava un moto di rotazione, mentre un'altra persona teneva appoggiate le mani sulla sfera e produceva così lo strofinamento necessario allo sviluppo dell' elettricità. In causa dello

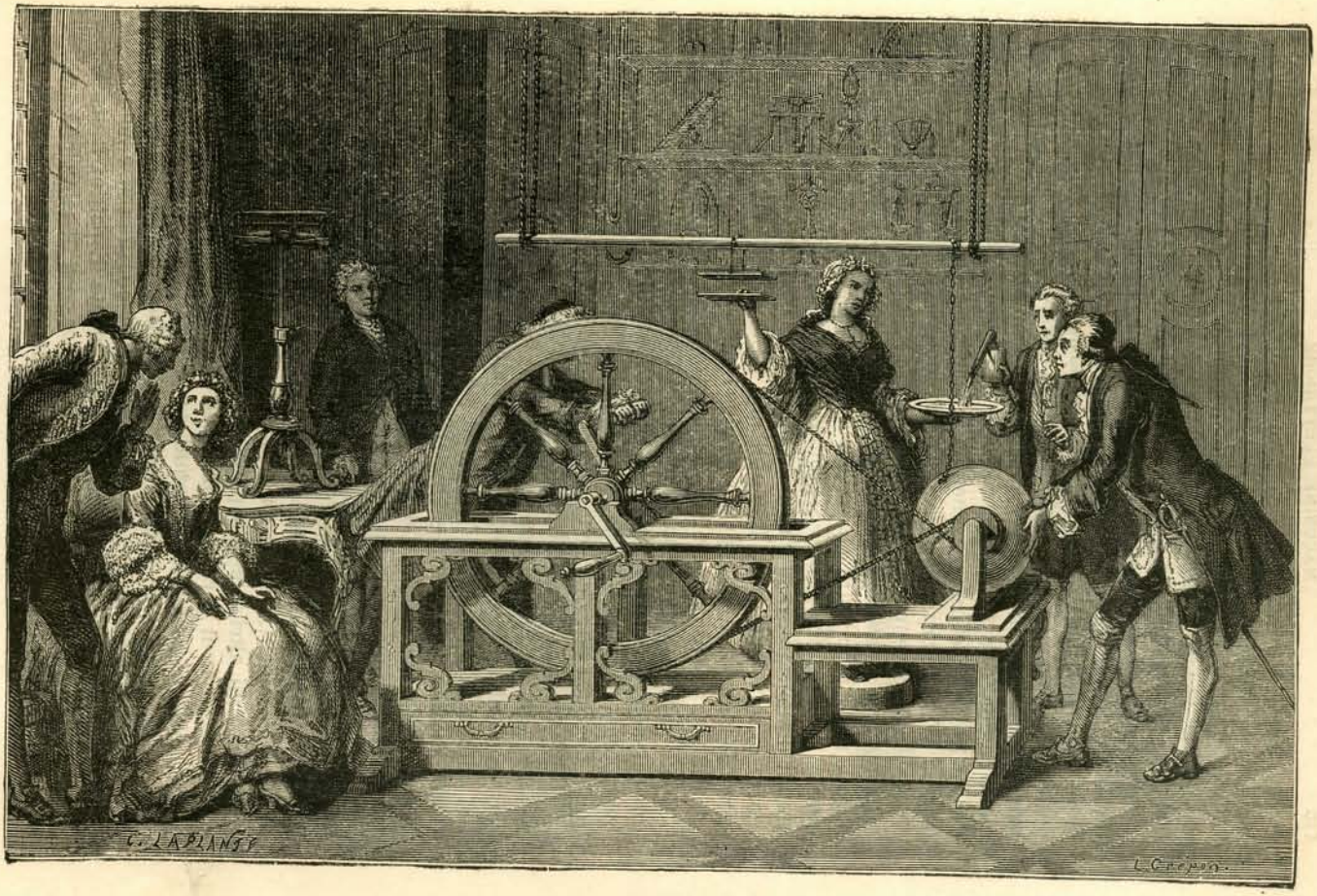


Fig. 380.

strofinamento, lo solfo si elettrizzava negativamente e l'elettricità positiva si spandeva nel suolo attravarso il corpo dello sperimentatore. Gli effetti prodotti da questa macchina erano poco intensi, le scintille, specialmente, avevano poco splendore e non erano visibili che allorquando si operava nell'oscurità.

Un fisico inglese, pressochè contemporaneo ad Ottone di Guericke, Hauksbee, ebbe l'idea di sostituire il globo di solfo con un globo di vetro; l'elettricità così ottenuta era positiva e gli effetti luminosi forniti dalla macchina così modificata, riescivano di notevole intensità. Ciononostante, questo apparecchio venne abbandonato per molto tempo, e fu solamente verso il XVIII secolo, al tempo dell'abate Nollet, che un'esperimentatore tedesco, Boze, professore di fisica a Wittemberg, fece rivivere, perfezionandola, la macchina di Hauksbee, che venne così generalmente addottata.

La fig. 380, ricavata dalle lezioni di fisica dell'abate Nollet, pubblicate nel 1767, mostra la disposizione della macchina adottata da questo celebre professore. Si componeva essa di una ruota di grandi dimensioni, il di cui moto di rotazione si trasmetteva, per mezzo di una fune senza fine e di una puleggia, ad un globo di vetro. L'elettricità sviluppata sul globo veniva raccolta su di un conduttore, sospeso alla soffitta per mezzo di cordoni di seta.

Come si vede, lo strofinamento veniva prodotto dalla mano di una persona; si fecero molti tentativi per sostituire questo processo, evidentemente difettoso e primitivo, coll'impiego di cuscinetti di cuojo imbottiti di crine, che, per mezzo di viti, si potessero più o meno avvicinare al globo di vetro. La forma però di questo, rendeva difficile la costruzione degli strofinatori e molti fisici ritornarono all'antico mezzo. Non fu che allorquando si sostituirono dei cilindri ai globi, che l'uso degli strofinatori divenne generale.

467. Macchina di Ramsden. — Oggigiorno si fa abbastanza generalmente uso di macchine a disco, ideate verso il 1768, dal celebre artista Ramsden, e che, da quell'epoca, non hanno subito che modificazioni insignificanti.

La figura 381 rappresenta il modello più sparso nei gabinetti di fisica. È formato da un disco di vetro, che si può far girare fra quattro cuscinetti. Due di questi cuscinetti son posti alla parte superiore, e gli altri due alla parte inferiore, dei montanti in legno che sostengono il pernio del disco. Di fronte al disco son disposti due conduttori metallici, sostenuti da piedi di vetro e terminanti con due rami ricurvi, che abbracciano il disco alle due estremità del diametro orizzontale; la parte interna di questi rami è munita di punte, che fecero dare a questi pezzi il nome di pettini. Il disco, in causa dello strofinarsi coi cuscinetti, si carica di elettricità positiva; questa elettricità, agisce per influenza sui conduttori, l'e-

lettricità positiva induttavi, rimane sui conduttori, l'elettricità negativa, sperdendosi per le punte dei pettini, va a neutralizzare l'elettricità del disco. Ma questo si elettrizza nuovamente passando fra l'altra coppia di cuscinetti, e così di seguito; di modo che, se si continua a far girare il disco, i conduttori rimangono costantemente carichi di elettricità positiva. Se si cessa dal far girare, l'e-

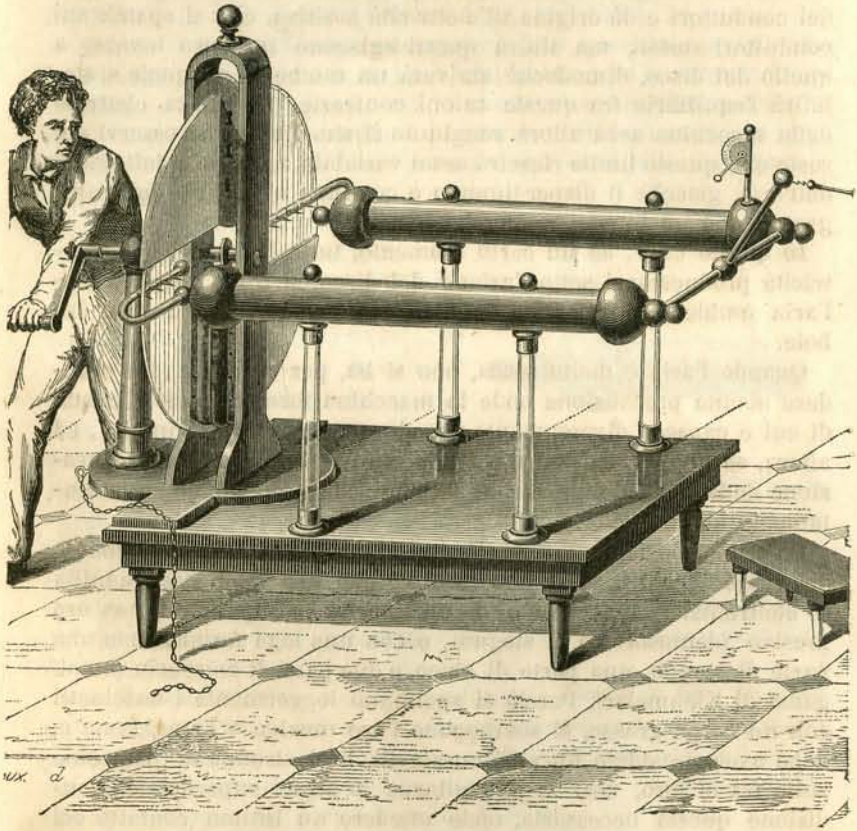


Fig. 381.

lettricità positiva stessa si sperde nell'aria, per parte delle punte, più o meno rapidamente a seconda dello stato di umidità dell'atmosfera. Onde evitare il disperdimento di elettricità nel tragitto dai cuscini ai pettini, si dispongono dei settori di taffetas sulle porzioni del disco che seguono i cuscini, nel senso ordinario del movimento. Il disco di vetro, elettrizzandosi positivamente, i cuscini si elettrizzano negativamente; è importante che questa elettricità negativa si disperda, giacchè essa agirebbe sui conduttori in senso

inverso a quello del disco. Si pongono perciò i cuscini in piena comunicazione col suolo, per mezzo di una linguetta metallica attraversante i montanti, e di una catenella metallica.

468. Carica limite della macchina. — L'influenza esercitata dal disco girante sui conduttori deve evidentemente avere un limite. Infatti, l'azione del disco si esercita principalmente sulle parti più vicine dei conduttori e dà origine all'elettricità positiva, che si spande sui conduttori stessi; ma allora questi agiscono in senso inverso a quello del disco, dimodochè arriverà un momento nel quale si stabilirà l'equilibrio fra queste azioni contrarie. La carica elettrica della macchina avrà allora raggiunto il suo limite. Si osservi del resto che questo limite riescirà assai variabile a seconda dello stato dell'aria, giacchè il disperdimento è continuo e può riescire assai grande con un tempo umido.

In questo caso, ad un certo momento, tutta la quantità di elettricità producentesi sotto l'azione del disco, si trova dispersa dall'aria ambiente e la carica della macchina può riescire assai debole.

Quando l'aria è molto secca, non si ha, per così dire, da prendere alcuna precauzione onde la macchina fornisca tutto l' effetto di cui è capace; diversamente accade quando l' aria è umida, ed allora, se non si attuassero tutte le cure necessarie alla preparazione della macchina, potrebbe accadere che non si ottenga assolutamente alcun effetto.

La prima considerazione si riferisce ai cuscinetti. Lo strofinamento del cuojo contro il vetro non fornisce che una mediocre quantità di elettricità. È conveniente di spalmarne la superfice o con oro musivo (deutosolfuro di stagno), o con una lega formata con una parte di stagno, una parte di zinco, e due parti di mercurio (amalgama di Kienmeier). Perciò si spalmano leggermente i cuscinetti con un corpo grasso, si sovrappone l'oro musivo o l'amalgama e, dopo aver riscaldato un po' i cuscinetti, li si strofinano parecchie volte fra di loro, così da uguagliarne lo strato superficiale, condizione questa necessaria, onde ottenere un intimo contatto col disco.

I cuscini in cuojo imbottiti con crine presentano una superfice convessa che non può toccare che imperfettamente il disco; vengono perciò spesso sostituiti con vantaggio da cuscinetti piatti, il di cui corpo è formato da strati di flanella sovrapposti; sono rivestiti da una lamina di taffetas, sulla quale si stende l'amalgama di Kienmeier; un foglio di stagnola addattata al contorno ed alla parte posteriore, permette di stabilire una perfetta comunicazione col suolo.

Dopo di aver preparato gli strofinatori, bisogna asciugare con

un pannolino secco e caldo i piedi isolanti dei conduttori. Il disco dev'essere in seguito pulito e liberato dai pulviscoli e dalle particelle di amalgama che vi si potrebbero trovare e, finalmente, asciugato con un pannolino o con carta secchi e caldi.

In generale sarà anche conveniente di collocare sotto i conduttori, fra i piedi della macchina, un piccolo fornello acceso, onde diminuire lo stato ignometrico dell'aria circostante.

Quando si prendono scrupolosamente tutti questi riguardi, qualunque sia lo stato dell'aria, si riesce a far funzionare la *sola* macchina in modo assai soddisfacente; ma lo stesso non può dirsi quando si tratti di caricare un conduttore od una batteria; quest'ultima operazione è spesso impossibile e se ne vedrà in seguito il motivo.

Il modo col quale la macchina si carica e conserva la sua elettricità, è accusato dall'elettrometro a quadrante. Questo istrumento è formato da un supporto conduttore (fig. 382), portante un quadrante in avorio. Al centro del quadrante è fissato un piccolo pendolo, formato da un'asticina in avorio e terminato da una pallottolina di midollo di sambuco.

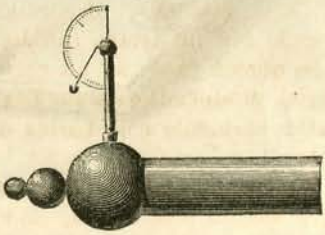


Fig. 382.

Quando i conduttori si elettrizzano, il pendolo vien respinto e diverge di un angolo tanto maggiore e tanto più presto, quanto più la carica è forte ed il disperdimento è piccolo. Quando l'aria è molto umida, al cessare della rotazione, il pendolo ricade istantaneamente alla posizione verticale, mentre, con un tempo secco, si abbassa lentamente e presenta ancora una divergenza sensibile dopo due o tre minuti.

469. Macchina di Nairne. — La macchina di Ramsden non fornisce che dell'elettricità positiva; per ottenerne dell'elettricità negativa, bisognerebbe isolare i cuscinetti e porli in comunicazione con un conduttore isolato. Gli è appunto una disposizione di questo genere che si riscontra nella macchina di Nairne.

Un grosso cilindro di vetro (fig. 383), ristringentesi alle sue estremità, è terminato da due pezzi metallici, posti sul prolungamento dell'asse del cilindro stesso, e riposanti sopra cuscinetti. Una delle estremità è munita di un manubrio. Parallamente al cilindro di vetro, son posti due cilindri in ottone, isolati; uno di essi è armato di punte nella parte rivolta al cilindro, l'altro comunica con un cuscinetto strofinatore e raccoglie quindi l'elettricità di quest'ultimo. Volendo si può conservare una sola delle due elettricità; basta perciò far comunicare col suolo il conduttore corrispondente all'altra specie di elettricità. La macchina di Nairne è oggigiorno assai poco usata.

470. Macchina Winter. — Il signor Winter di Vienna ha costruito un modello

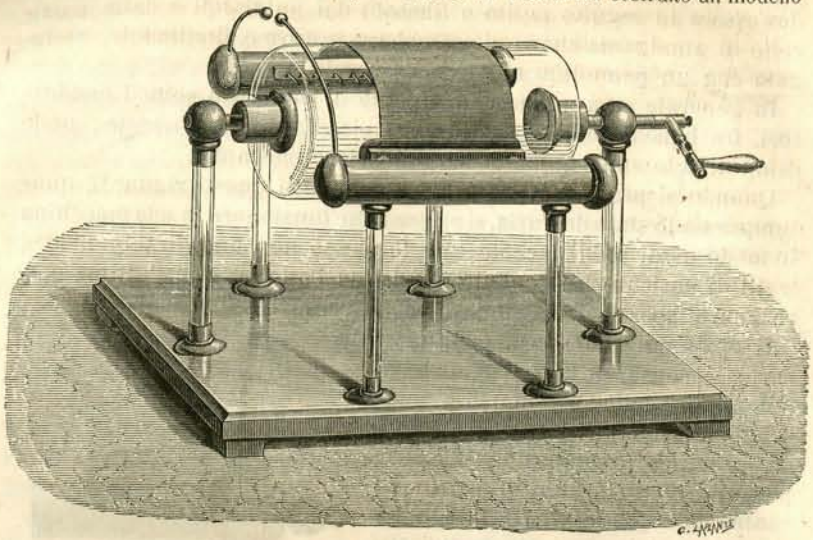


Fig. 383.

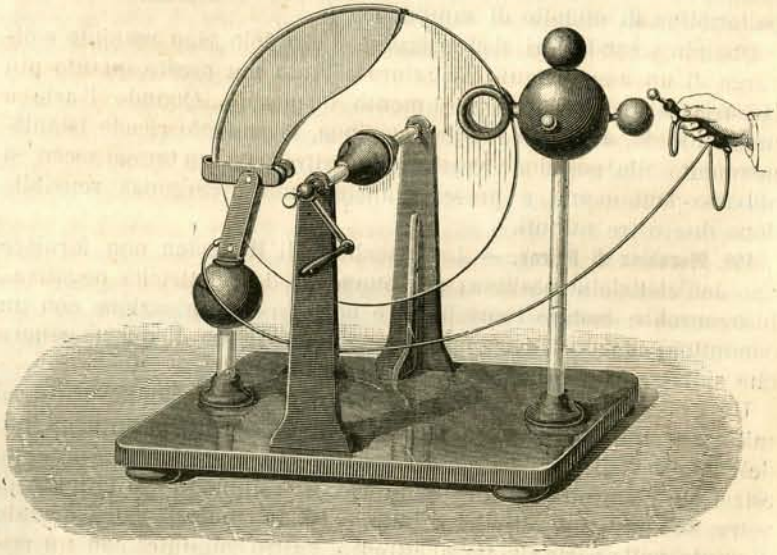


Fig 384.

modificato della macchina a disco, abbastanza sparso in Austria e che sembra presentare qualche vantaggio.

Vi si riscontrano, come lo mostra la figura 384, un solo pajo di cuscinetti, posti

in comunicazione con una sfera metallica, sostenuta con da piede di vetro. Questa sfera può servire a raccogliervi l'elettricità negativa, come appunto si fa sul conduttore negativo della macchina di Nairne. Il conduttore principale è costituito da una sfera isolata, generalmente munita alla sua parte superiore di una sfera di minor diametro.

All' estremità del diametro passante pel cuscinetto si trova un'anello di legno, presentante una larga apertura, così da lasciar libero il passaggio del disco; le due faccie affacciate al disco stesso, sono scavate e guernite ci scuna di una lastra di ottone armata di punte, così da favorizzare il disperdimento dell'elettricità.

A parità di circostanze sembra che la macchina di Winter fornisca scintille di maggior lunghezza di quelle date dalle macchine ordinarie. Questa circostanza è dovuta, in parte almeno, alla notevole distanza alla quale son posti l'un dall'altro il cuscinetto strofinatore ed il conduttore; le scariche fra queste due parti riescono così evitate; queste scariche laterali contribuiscono notevolmente, nel sistema ordinario, a diminuire la tensione limite.

471. Macchina idroelettrica. — Il signor Amstrong, verso il 1840, ha fatto conoscere una macchina elettrica fondata sullo strofinamento del vapore contro le pareti degli orifici dai quali sfugge sotto forte pressione. Questa macchina è costituita da una caldaja a focolare interno (fig. 385), portata da piedi di vetro. Il vapore, prima di effluire, passa, per l'intermezzo di tubi, in una cassetta refrigerante, contenente dell'aqua. Degli stoppini di cotone sono immersi in quest' aqua e la conducono, per capilarità, in contatto dei tubi sui quali si appoggiano. Ne consegue un raffreddamento che determina la liquefazione parziale del vapore.

È questa una condizione indispensabile, giacchè lo strofinamento del vapore secco non dà alcun sviluppo di elettricità. Non è dunque, a vero dire, il vapore che fornisce l'elettricità, bensì le goccioline d'aqua, ed il vapore non costituisce che il mezzo di ottenere un'energica frizione. Il getto di vapore si elettrizza positivamente e la caldaja negativamente. Onde raccogliere l'elettricità positiva, si dirige la corrente di vapore su di un pettine metallico in comunicazione con un conduttore isolato.

La disposizione dei condotti pei quali sfugge il vapore, ha un'importanza capitale. La figura 386 mostra come il vapore, fermato nel suo moto da una linguetta metallica, circonda questo ostacolo e sfugge finalmente da un tubo, formato ordinariamente in bossolo.

Onde la macchina idroelettrica funzioni bene è necessaria una pressione di 7 ad 8 atmosfere; l'aqua che riempie la caldaja dev'essere aqua distillata; se nel tubo che precede i becchi di efflusso si introduce una dissoluzione salina, cessa ogni sviluppo di elettricità.

La macchina idroeletttrica è assai potente. L' istituto politecnico di Londra ne possiede una la di cui caldaja, lunga 2 metri e del diametro di circa 1 metro, presenta 46 becchi. Le scintille vi possono raggiungere una lunghezza di 60 centimetri e presentano una intensità veramente temibile. Queste macchine sono di mantenimento incomodo, e, fra gli altri inconvenienti, il loro funzionamento è accompagnato da un enorme sviluppo di vapore, il quale, oltre all' incomodo rumore prodotto nell'efflusso, presenta il grande inconveniente di inumidire gli apparecchi. Tutti questi motivi fanno della macchina idroelettrica un istrumento di cui si possono constatare ad un dato momento i curiosi effetti, del quale però non si fa uso pella produzione corrente dell'elettricità.

472. Macchina di Holtz. — Nelle macchine descritte l'elettricità vien prodotta collo strofinamento continuo di una sostanza contro un'altra. Si hanno oggigiorno degli apparecchi di genere affatto diverso,

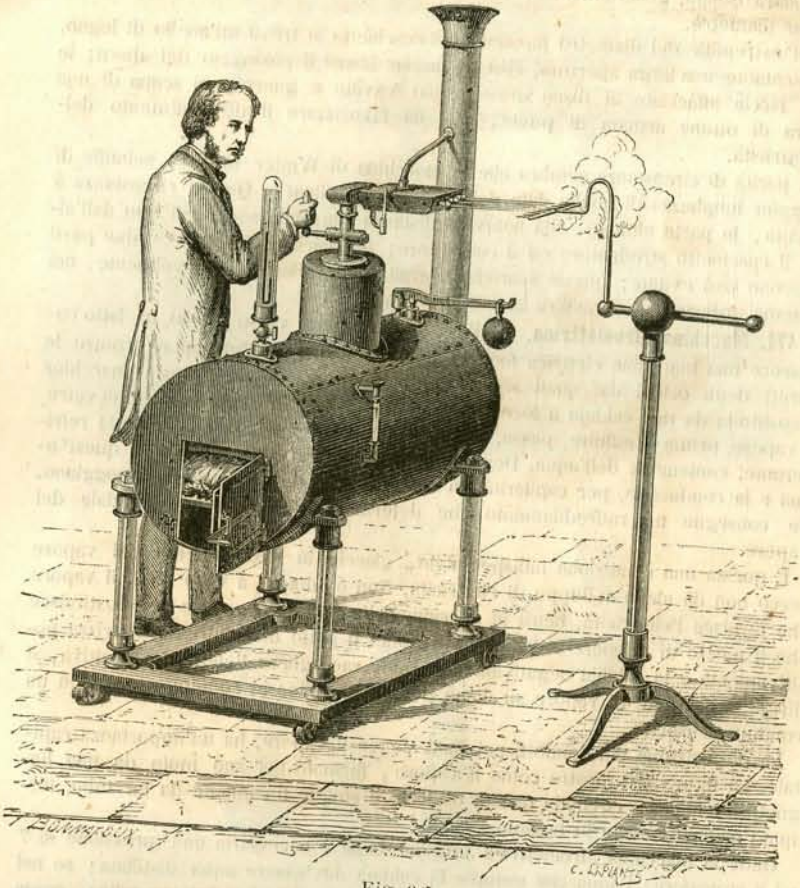


Fig. 385.

nei quali un corpo elettrizzato, una volta per tutte, agisce per influenza su di un sistema mobile e dà origine ad uno sviluppo continuo di elettricità. Il signor Holtz di Berlino ed il signor Toppler di Riga, hanno, durante l'anno 1865, fatto conoscere, ciascuno per sua parte, un'apparecchio fondato su questo nuovo principio. La macchina del signor Toppler, assai complicata d'altronde, è poco usata.

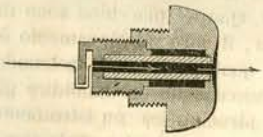


Fig. 386.

La macchina del signor Holtz è invece assai sparsa; la sua manutenzione è più facile e la sua introduzione nei gabineiti di fisica ha reso un grande servigio alla scienza ed all'insegnamento.

La macchina è formata da un disco fisso *A* di vetro (fig. 387), innanzi al quale gira un disco mobile *B*, pure di vetro; sul disco fisso, ed alle estremità del diametro orizzontale, son praticate due aperture, munite ciascuna di un'armatura di cartone; queste armature presentano, come lo mostra la figura, due punte *f*, *f'*, di-

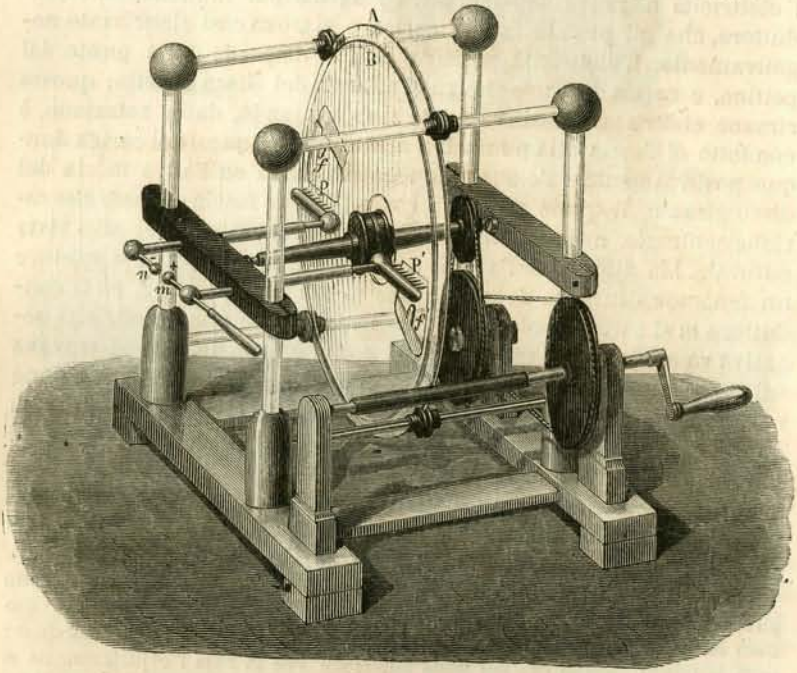


Fig. 387.

rette in senso contrario al movimento del disco. Due pettini metallici *P*, *P'* son collocati dicontro alle aperture, ma dall'altra faccia del disco mobile; questi pettini comunicano con due conduttori isolati, terminati da sfere *m* ed *n*, che possonsi dire i poli della macchina e che si possono avvicinare più o meno fra loro. Per mettere l'apparecchio in attività, si pongono in contatto le due sfere *m* ed *n* e si elettrizza una delle armalure, *f*, per esempio, ponendola in contatto con uua lamina di caoutchouc elettrizzato negativamente; si fa allora girare il disco per qualche istante, e si allontanano gradualmente le due sfere.

Immediatamente si produce fra loro una specie di ronzio con-

tinuo, derivante dal rapido neutralizzarsi delle elettricità contrarie dei due poli. Nelle condizioni poste, la sfera *n* costituisce il polo negativo, e la sfera *m* il polo positivo dell'apparecchio. Se il tempo è secco, la macchina, una volta caricata, può funzionare durante un tempo assai lungo, purchè, però, si continui a far girare il disco; cessa invece di agire se l'aria è carica di umidità; sembra anzi che l'umidità abbia su queste macchine un'influenza ancora più dannosa che non sulle macchine ordinarie. In queste macchine l'elettricità negativa dell'armatura *f* agisce per influenza sul conduttore, che gli prende la sua carica e si trova così elettrizzato negativamente. L'elettricità positiva poi, si disperde dalle punte del pettine, e carica la parte che gli si affaccia del disco girante; questo rimane elettrizzato positivamente fino a quando, dalla rotazione, è condotto di faccia alla punta dell'armatura *f'*; questa si carica dunque positivamente e l'elettricità negativa passa sull'altra faccia del disco girante, il quale presenta così sulle sue faccie opposte due cariche contrarie, e può quindi considerarsi come se fosse allo stato naturale. Ma allora, per l'azione dell'armatura positiva *f'*, si produce un fenomeno inverso di quello che si era prodotto in *f*, ed il conduttore *m* si carica di elettricità positiva, mentre che l'elettricità negativa va a neutralizzare quella di nome contrario, che si trovava sul disco mobile. Questo, non conservando più che la sua azione negativa, mantiene, colla sua influenza, la carica dell'armatura *f*; questa agisce a sua volta sul conduttore corrispondente, e così di seguito. Come dunque si vede, una volta prodotta, l'elettrizzazione primitiva, se non si hanno disperdimenti troppo notevoli, il movimento del disco mantiene le cariche contrarie delle due armature, e queste, a lor volta, mantengono i conduttori in istati elettrici opposti.

Non si è tenuto conto, nella data spiegazione, dell'influenza esercitata sul piatto girevole stesso; è chiaro che questa avrebbe per risultato di costituire uno stato elettrico inverso a quello che dà luogo agli effetti ordinari della macchina; però, la cattiva conduttività del disco impedisce che in esso l'elettrizzamento si produca con qualche intensità. Si può dunque considerare la sua azione come affatto insignificante. Si capisce però come, in certe circostanze, le cose possono procedere diversamente, ed allora il funzionamento della macchina ne verrebbe sensibilmente modificato.

Il signor Holtz ha fatto subire alla sua macchina una modificazione assai interessante. I due dischi son disposti orizzontalmente (fig. 388) e non presentano nè aperture nè armature e ricevono ambedue il movimento di rotazione, ma in senso contrario l'uno all'altro. Due conduttori armati di pettini son posti al disopra del disco superiore e disposti alle estremità di un diametro; due altri son disposti al disotto del disco inferiore alle estremità del diametro perpendicolare al primo. Il complesso costuituisce due coppie, formate ciascuna dalla riunione di un conduttore superiore con un conduttore inferiore. Per caricare la macchina si pone un settore di caoutchouc elettrizzato sul disco superiore, di fronte ad uno dei pettini inferiori; dopo qualche momento di rotazione, il settore si può togliere, ed un

flusso continuo di elettricità si svolge fra due dei poli opposti delle coppie di conduttori. Spesso si colloca, alla parte superiore come lo mostra la figura, un pettine opposto ad uno dei pettini inferiori. Questa disposizione, che però non è necessaria, sembra aumenti l'effetto della macchina.

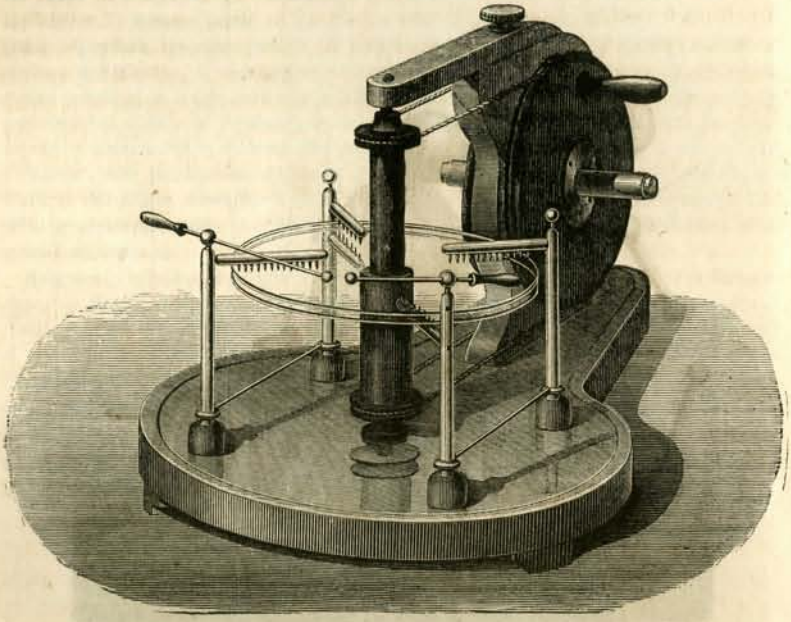


Fig. 388.

La teoria dell'elettrizzazione per influenza si applica a questa nuova disposizione della macchina di Holtz, nella quale i pettini, hanno, rispetto al disco opposto, l'ufficio stesso che, nella prima forma della macchina, hanno le armature di cartone rispetto al disco mobile. Senza entrare in maggiori dettagli, egli è impossibile di non accorgersi come, in questi curiosi apparecchi, riesca evidente una trasformazione del moto in elettricità, analoga alla trasformazione di moto in calore, di cui si è tenuto parecchie volte parola.

473. Elettrofori. — Nei laboratori si ha spesso bisogno di una scintilla elettrica; è facile di ottenerla per mezzo di un apparecchio assai più semplice della macchina elettrica, conosciuto col nome di *elettroforo*, dovuto a Volta.

Esso è formato da un disco di resina (fig. 389), sul quale si appoggia un piatto conduttore B, portato da un manico isolante $C\,D$ detto *scudo*.

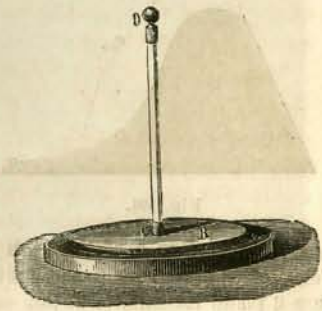


Fig 389.

Si elettrizza negativamente il disco strofinandolo con una pelle di gatto o con un pannilano, quindi vi si appoggia il piatto conduttore. Questo si elettrizza, sotto l'inflenza dell'elettricità negativa della resina, secondo leggi stabilite al § 455. Toccando quindi il piatto

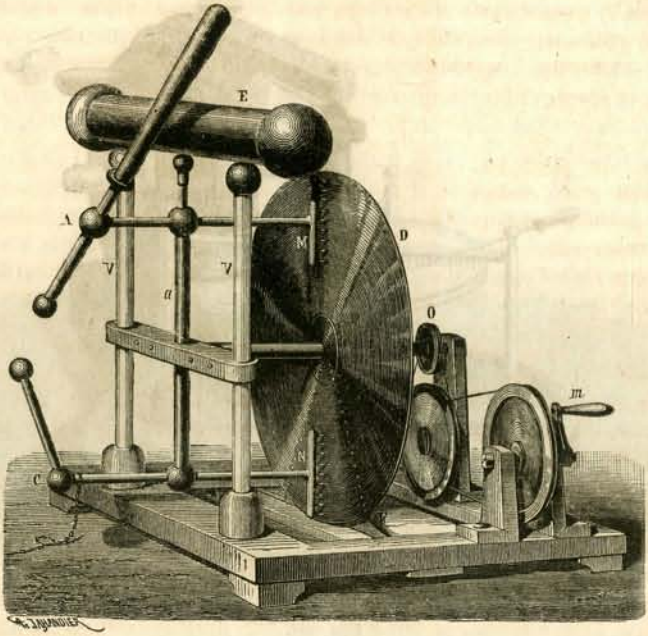


Fig. 390.

conduttore col dito, l'elettricità negativa si disperde nel suolo e non rimane che l'elettricità positiva. Se dunque si solleva lo scudo, per mezzo del suo manico isolante, l'elettricità positiva si spanderà sulla sua superfice e se ne potrà cavare una scintilla. Siccome la resina conserva per molto tempo il suo stato elettrico, specialmente se l'aria è secca, poggiando di nuovo il piatto conduttore sulla resina, ed operando al modo indicato, si potrà successivamente ottenere un gran numero di scintille.

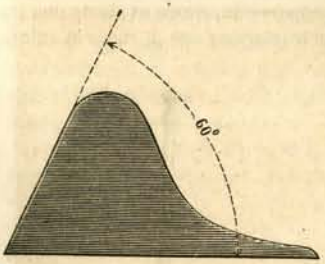


Fig. 391.

474. Elettroforo a rotazione di Bertsch. — Come si vede, onde ottenere coll'elettroforo delle scintille successive, bisogna alternativamente alzare ed abbassare il piatto conduttore. Si può sostituire questo movimento alternativo con un

movimento di rotazione; gli è appunto press'a poco ciò che accade nella macchina rappresentata dalla figura 390 e che venne costruita dal signor Bertsch.

Si elettrizza un settore in caoutchouc indurito (fig. 391) e lo si colloca alla parte inferiore di un disco *D* della stessa sostanza (fig. 390), al quale si comunica un moto di rotazione. Di contro alla parte inferiore del disco si trova un pettine metallico *N*, facente parte di un conduttore *C*, in comunicazione col suolo. Alla parte superiore, un altro pettine *M* comunica col conduttore *A*. Sotto l'azione del settore elettrizzato, il conduttore *C* fornisce, per mezzo del pettine *N*, dell'elettricità positiva, la quale carica la parte di disco che le sta affacciata. Il disco stesso, passando di contro al pettine superiore, agisce per influenza, elettrizza positivamente il conduttore e ritorna allo stato naturale. Si avrà dunque, in causa della rotazione, una produzione continua di elettricità nel conduttore *A*, il quale fa qui l'ufficio del piatto conduttore dell'elettroforo. Si aumenta assai sensibilmente l'effetto prodotto, ponendo il conduttore *A* in comunicazione con un conduttore *E* di grandi dimensioni.

Malgrado l'effettiva analogia che esiste fra la macchina ora descritta e la macchina di Holtz, si deve però osservare come, in quest'ultima la carica primitivamente fornita alle armature, si mantenne in esse, mentre nella macchina di Bertsch si tratta di un corpo elettrizzato, che agisce colla propria carica e la di cui azione diminuisce, naturalmente, man mano col disperdimento; in altri termini, la è come un'elettroforo che rimane più o meno completamente carico, mentre che la macchina di Holtz si può considerare come un' elettroforo che si ricarica da sè stesso ad ogni rivoluzione del disco mobile.

CAPITOLO VI.

ESPERIENZE DIVERSE ESEGUIBILI COLLA MACCHINA ELETTRICA.

475. Scintilla elettrica. — La scintilla che si ottiene dai conduttori di una macchina elettrica di piccole dimensioni è corta e generalmente rettilinea. Quando invece la macchina è potente, le scintille possono aquistare una lunghezza di 0^m, 30 e più. In questo caso esse presentano una forma a zig-zag, la di cui analogia col fulmine è assai manifesta. Uno dei mezzi più proficui per ottenere delle lunghe scintille, consiste nell'affacciare ad una delle piccole sfere dei conduttori della macchina (fig.

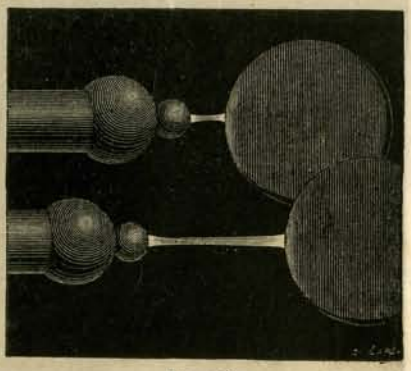


Fig. 392.

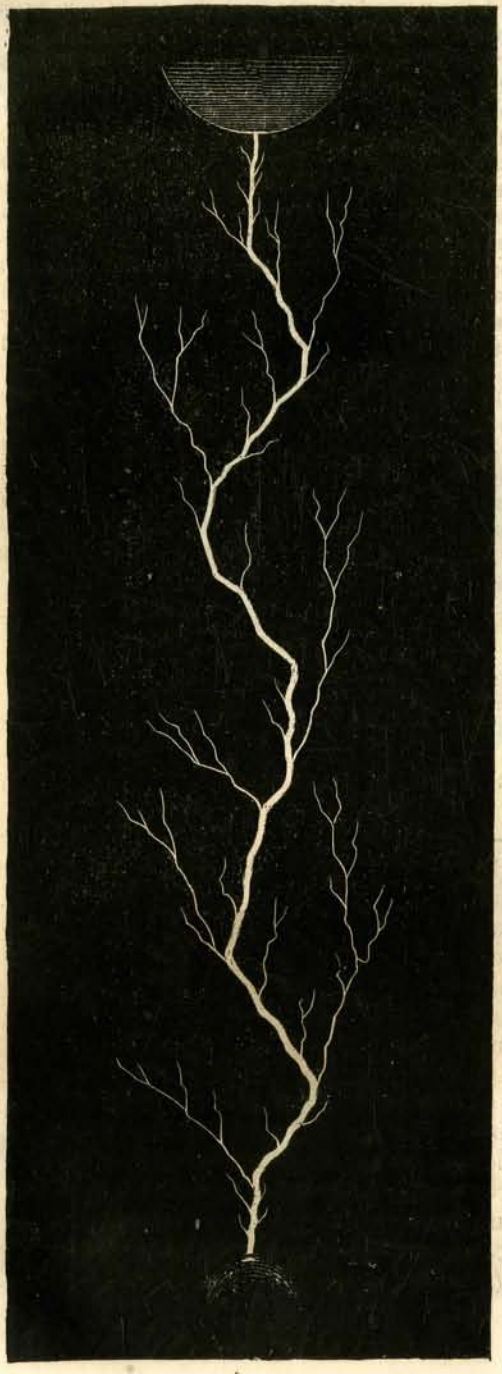


Fig. 393.

392) un disco conduttore tenuto in mano, o posto in comunicazione col suolo per mezzo di una catena, se si vuol evitare la sensazione di scossa. Si otterrebbero maggiori effetti facendo comunicare il disco coi cuscinetti strofinatori, opportunatamente isolati, della macchina ordinaria, o col conduttore negativo nella macchina Winter.

Assai spesso, quando la lunghezza della scintilla raggiunge od oltrepassa $0^m,30$, il tratto luminoso dà origine lateralmente, in tutti i punti del suo percorso, a delicate ramificazioni, di lunghezza variabile, come lo mostra la figura 393. Sono una spece di scariche laterali, indicanti una vera tensione elettrica nel corpo stesso della scintilla.

Fu già quistione dei mezzi di accrescere la lunghezza delle scintille fornite da una macchina elettrica, e si è trovato che conviene di far comunicare i conduttori principali della macchina con condut-

tori di sezione più piccola e di notevole lunghezza, detti conduttori secondari. Volta faceva uso di dodici cilindri del diametro di 0^m, 013 e della lunghezza di circa 3 metri, comunicanti fra loro, ma posti a distanza abbastanza grande da non nuocersi recipro-

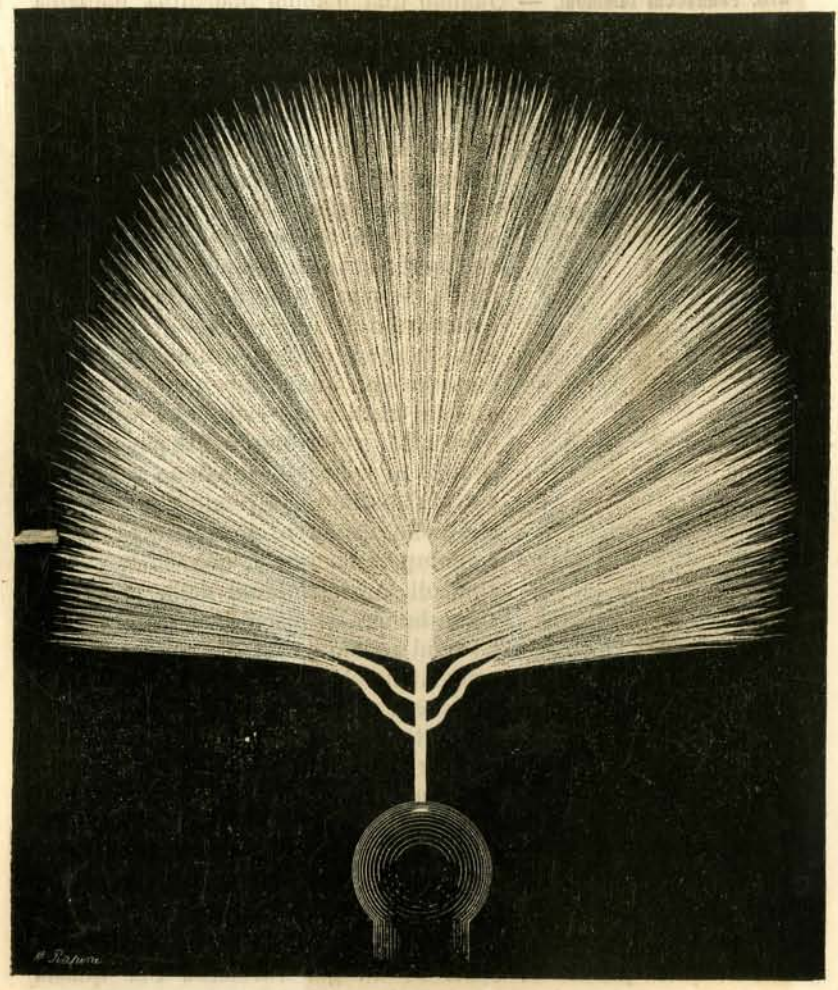


Fig. 394.

camente colla loro mutua influenza. Volta otteneva così delle scintille la di cui lunghezza giungeva talvolta sino a 60 centimetri, ed i di cui effetti sull'organismo sono davvero temibili.

La durata della scintilla elettrica è estremamente piccola: il si-

gnor Wheatstone, col metodo dello specchio girevole, che si vedrà in seguito applicato alla misura della velocità della luce, ha trovato che la durata della scintilla è di $\frac{1}{24,000}$ di secondo.

476. Pennacchi luminosi. — Quando una potente macchina elettrica funziona con un tempo secchissimo, i suoi cuscinetti, opportunamente preparati, hanno il loro massimo effetto e, se si fa girare rapidamente il disco, si ode un mormorio caratteristico, segno di una scarica continua nell'aria; se si opera nell'oscurità, si vedono infatti prodursi, su diversi punti dei conduttori, dei fiocchi luminosi. Si può renderli assai apparenti avvicinando un corpo conduttore ad una certa distanza, maggiore però di quella che provocherebbe la scintilla propriamente detta. Si riconosce allora che il pennacchio è costituito da una specie di picciuolo (fig. 394) più o meno allungato, dall'estremità del quale divergono a ventaglio dei tratti assai esili, che si ramificano a lor volta un numero più o meno grande di volte. Il fenomeno riesce assai più distinto coll'elettricità positiva che colla negativa. Si aggiunga come, contemporaneamente, quando le condizioni di funzionamento della macchina sieno buone, il disco di vetro è solcato ad ogni momento da brillanti scintille, provenienti da scariche accadenti fra i cuscinetti ed i pettini; i conduttori stessi presentano dei contorni luminosi. Nell'oscurità l'effetto luminoso di questo assieme di fenomeni, il crepitio ed il scintillamento dell'elettricità, costituiscono uno spettacolo interessante, che eccitava, senza soddisfarla, la curiosità degli elettricisti del secolo scorso.

Fig. 395.

477. Scintille nei gas rarefatti. — L'aspetto della scintilla si modifica notevolmente quando si operi in un gas rarefatto. Per questa spece di esperienze si fa uso di un'apparecchio detto *uovo elettrico*. È questo un pallone di vetro di forma ovoidale (fig. 395), nel quale si può praticare il vuoto e mantenervelo, per mezzo di un robinetto collocato alla parte inferiore. La guarnitura superiore è attraversata da un'asticina conduttrice, terminata alla parte inferiore da un bottone, il quale può collocarsi a distanze variabili da un'altro bottone, comunicante colla guernitura inferiore dell'apparecchio.

Quando l'uovo elettrico è pieno d'aria alla pressione ordinaria, tra i due bottoni si producono delle scintille, quali le si son precedentemente descritte; quando la pressione diminuisce, il loro aspetto cambia affatto. Alla pressione di 6 centimetri di mercurio, dal bottone positivo sfugge una specie di sprazzo ramificato, alcuni rami del quale terminano a piccola distanza dall'origine, mentre altri vanno a raggiungere il bottone negativo; questo poi è circondato da una fosforescenza violaccea; i raggi son pure violetti, ma di tono più vivo; il bottone positivo, finalmente, presenta un distinto colore purpureo (fig. 396).

Quando la pressione diminuisce ancor maggiormente, così da giungere solamente a qualche millimetro, i raggi si allargano e, finalmente, non si distingue più altro che una spece, per così dire, di vapore porporino, di forma ovoide, che stabilisce la comunicazione fra le due sfere, con una tinta violetto carico verso il bottone negativo. Per eseguire queste esperienze colla macchina elettrica ordinaria, si pone in comunicazione il conduttore della macchina colla guernitura superiore dell'uovo elettrico, e la guernitura inferiore in comunicazione col suolo. Nelle esperienze di questa spece si può far uso assai vantaggiosamente della macchina di Holtz, i di cui due poli vengono posti in comunicazione colle guerniture dell'uovo.

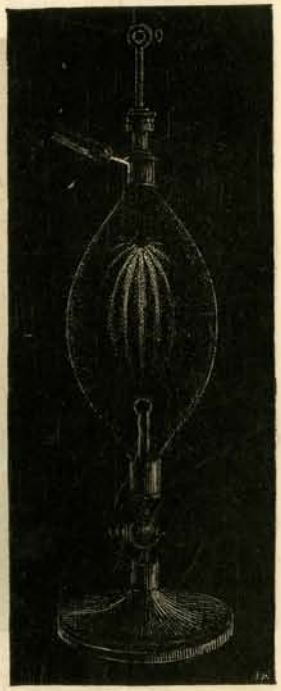


Fig. 396.

Quando, invece che dell'uovo elettrico, si fa uso del tubo destinato alla dimostrazione sulla caduta dei gravi nel vuoto, si produce in tutta la lunghezza del tubo una fosforescenza violetta, in preda ad una spece di moto ondulatorio, che accusa come una spece di corrente nel senso dell'elettricità positiva.

Nel vuoto barometrico la scarica elettrica è accompagnata da una fosforescenza ben percettibile, quantunque abbastanza debole; si può constatare questo fatto colla disposizione indicata dalla figura 397 e dovuta a Cavendish. Un doppio tubo barometrico ha i rami immersi in due vaschette a mercurio; il liquido di una di queste vien posto in comunicazione colla macchina elettrica, mentre il liquido dell'altra comunica col suolo. Una fosforescenza si

produce nella camera barometrica e questa fosforescenza sembra essere tanto più sensibile, quanto più elevata è la temperatura, ciò che, naturalmente, deve attribuirsi alla maggior quantità di vapore di mercurio, le di cui particelle servono alla scarica.

Queste diverse esperienze sembrano condurre alla conclusione seguente: La luce elettrica è sempre il risultato della combinazione dell'elettricità positiva colla negativa, e l'intensità di questa luce è tanto più significante, quanto più grandi sono le quantità di elettricità che si riuniscono. Però, onde possa aver luogo l'accumulazione necessaria ad una grande intensità luminosa, è indispensabile che certi corpi oppongano una resistenza più o meno grande alla riunione delle due elettricità. Nei gas rarefatti questa resistenza diviene di più in più debole, e si capisce allora come essi facilitino la produzione delle scintille, mentre ne fanno diminuire lo splendore. Si è così condotti ad una conseguenza singolare in apparenza, che però è pienamente verificata dall'esperienza.

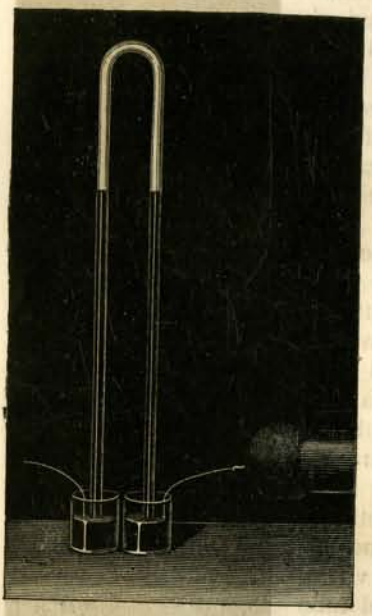


Fig. 397.

Se si pratica il vuoto assoluto in un tubo, in questo non si produce alcun movimento elettrico, e quindi non avvi segno di fosforescenza. L'apparecchio mostrato dalla figura 398, costrutto dal signor Alvergniat, permette di verificare questo fatto. Nel tubo *T* si è praticato il più completamente possibile il vuoto, per mezzo della macchina di Geissler, poi il tubo stesso venne portato e mantenuto per qualche tempo ad una temperatura vicina a quella della fusione del vetro. In questo modo si produce certamente un'assorbimento delle ultime particelle d'aria, giacchè dopo non è più possibile la produzione di alcuna scintilla. Due fili di platino attraversanti il tubo, distano fra loro all'interno di $^1/_{10}$ di millimetro; si pongono i poli della macchina di Holtz in comunicazione, per mezzo dei morsetti *B* e *B'*, da una banda con questi due fili, dall'altra con due asticine *p* e *p'*, le di cui estremità

si trovano ad una piccola distanza fra loro. Durante tutto il tempo in cui la macchina funziona, si vedono prodursi delle scintille fra le estremità di queste asticine poste nell'aria, mentre, ad onta della piccolissima distanza che separa gli estremi interni dei fili di platino, non producesi alcuna fosforescenza. Invece di porre a piccola distanza fra loro nell'aria gli estremi delle due asticine, si può adattarli all'estremità di un tubo a gas rarefatto, di notevole lunghezza; questo tubo si riempie di luce fosforescente sopra un'estensione tanto più grande, quanto più piccola è la forza elastica dell'aria nel tubo; come dunque si vede, man mano che il gas va rarefacendosi, la lunghezza della luce fosforescente va

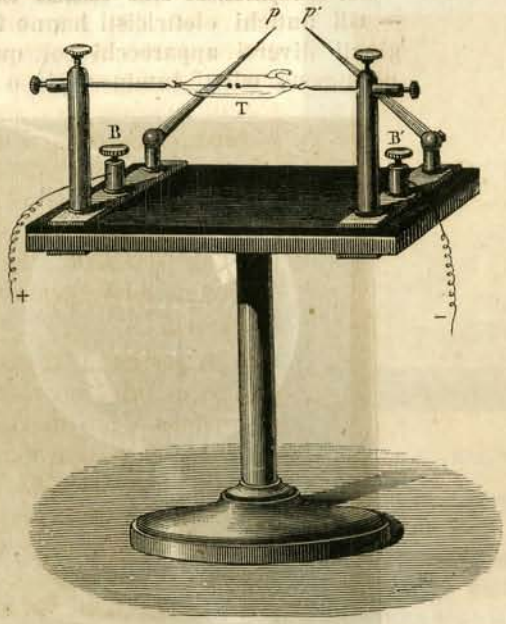


Fig. 398.

Fig. 399.

aumentando, per diventar poi nulla, quando è pur nulla la densità del gas; appunto come si era detto.

478. Colore della scintilla. — Il colore della scintilla elettrica deriva da due cause: 1.° dalla qualità dei conduttori metallici fra i quali si produce; 2.° dal mezzo gasoso che attraversa. Quando la scintilla è intensa, la prima delle due cause tende a predominare; accade l'opposto quando la scintilla è debole. La modificazione prodotta dal metallo sembra dovuta ad una porzione di esso che si vaporizza; si osserva infatti, studiando la scintilla collo spettro-

scopio, che lo spettro presenta le righe brillanti che, come si vedrà in seguito, corrispondono alle sorgenti luminose contenenti vapori metallici.

Onde studiare l'influenza del mezzo ambiente, si producono scintille deboli e si opera in tubi contenenti dei gas rarefatti (fig. 399). Le estremità del tubo sono attraversate da fili di platino, metallo difficilmente evaporabile, posti in comunicazioni coi poli della macchina di Holtz. Gli è operando in questo modo che si trova che la scintilla, nell'aria o nell'ossigeno è bianca con una degradazione azurra; azurra nell'azoto, rossa nell'idrogeno, verde nell'acido carbonico, ecc.

479. Moltiplicazione della scintilla elettrica. — Gli antichi elettricisti hanno immaginati diversi apparecchi coi quali si producono effetti luminosi più o meno

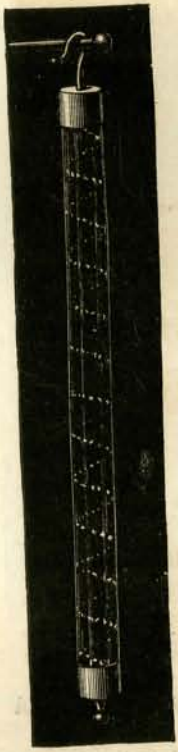


Fig. 400.

Fig. 401.

interessanti per la moltiplicazione della scintilla elettrica. Il principio su cui si fondano tutti questi apparecchi è lo stesso. Su di una lamina isolante si incollano delle piccole losanghe di stagnola, le di cui successive estremità sono assai vicine le une alle altre. La prima losanga della serie è in comunicazione con una

sfera metallica, che puossi avvicinare alla macchina elettrica, l'ultima comunica col suolo. Se dalla macchina scocca una scintilla, questa si riproduce a tutte le soluzioni di continuità, così che si ha l'apparenza di un tratto luminoso continuo, presentante qualche volta effetti curiosi.

Nel tubo scintillante (fig. 400) le losanghe di stagnola formano su di un cilindro di vetro una linea spirale. Se invece che su di un tubo, si dispone la stessa esperienza su di un globo, si ha il globo scintillante (fig. 401).

Nel quadro scintillante (fig. 402), una listerella di stagnola, disposta in modo continuo, in rami paralleli, e comunicante alle due estremità con due sfere poste, una all' alto ed una al basso del quadro. Per mezzo di una punta si produce una serie di discontinuità nella listerella di stagnola, così da rappresentare un disegno qualunque. Al passaggio della scintilla compare un tratto brillante a ciascuna interruzione e ne nasce così un disegno in tratti di fuoco.

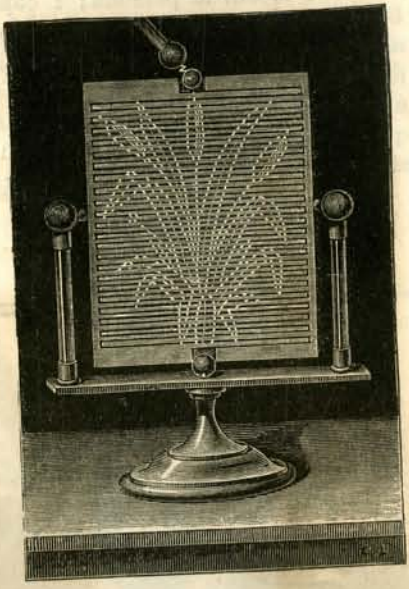


Fig. 402.

480. Proprietà fisiologiche della scintilla — Elettrizzazione del corpo umano. — Quando si avvicina un dito alla macchina elettrica in attività, così da cavarne una scintilla, si prova una sensazione particolare, difficile a descriversi. Gli è come una spece di urto doloroso alle articolazioni del braccio, che le obbliga ad una contrazione involontaria. L'effetto, affatto passaggiero se si tratta di una macchina di poca potenza, dà luogo, usando di macchine potenti, ad una impressione dolorosa, che può durare più o meno lungamente, anche dopo l'urto. Con macchine il di cui disco misuri da 1,^{m}50 a 2 metri di diametro, munito di un opportuno sistema di conduttori secondari, le scintille diventano temibili. Si osservi, a questo proposito, che le sole macchine capaci di produrre direttamente delle grandi scintille sono le macchine a disco del sistema Ramsden. Nella macchina di Holtz si produce come una spece di corrente continua

di elettricità a debole tensione; volendo ottenere da esse delle forti scintille, bisogna far comunicare i due conduttori colle armature di un condensatore.

Stando vicini ad una potente macchina elettrica funzionante con un tempo ben secco, si prova la sensazione come di un leggero velo che tocchi la persona; i capegli si impressionano alla loro base e tutto il corpo si trova sotto una impressione speciale dovuta all'elettricità sviluppantesi sotto l'influenza del conduttore. Questi fenomeni si sentono più spiccati salendo sullo sgabello isolante e ponendo una mano sul conduttore. La persona che eseguisce questa esperienza diviene un prolungamento del conduttore stesso, si elettrizza, i suoi capegli si drizzano e diventano luminosi nel-

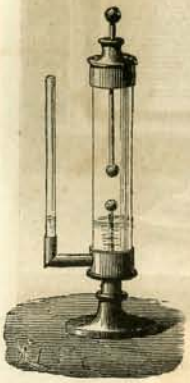


Fig. 403.

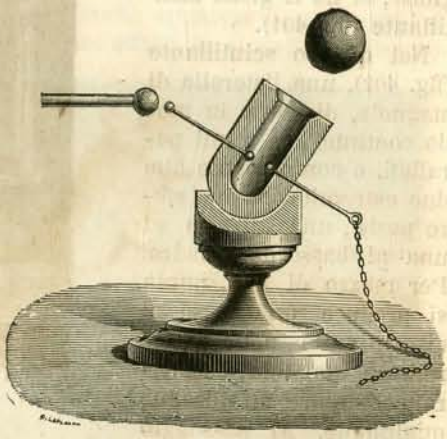


Fig. 404.

l'oscurità; avvicinando un corpo conduttore, i capelli ricadono ad ogni scintilla cavata e si rialzano subito dopo.

Si era tentato di applicare questi effetti speciali dell' elettricità alla terapeutica. Vennero perciò successivamente usati, la macchina elettrica e la bottiglia di Leyda. Oggigiorno i medici fanno esclusivamente uso di correnti elettriche, ottenute con mezzi di cui si parlerà più innanzi.

481. Proprietà meccaniche e fisiche della scintilla. — La scintilla elettrica manifesta un'azione meccanica assai intensa nel mezzo ove si produce. Lo si dimostra con evidenza per mezzo del termometro di Kinnersley (fig. 403). Esso è formato da due tubi di vetro di diametro diseguale; il più largo è completamente chiuso, l' altro comunica coll'atmosfera. La parte superiore del tubo più largo è attraversata da un'asticina metallica, terminata con un bottone che può porsi a distanza variabile da un'altro bottone in comuni-

cazione colla guernitura inferiore dell'apparecchio. Nell'istrumento si pone un liquido abbastanza mobile, per esempio dell' alcool, in tale quantità da arrivare appena al bottone inferiore. Al momento in cui scocca la scintilla all'interno, il liquido vien projettato con violenza e, se la scintilla è sufficientemente poderosa, può elevarsi fino a parecchi metri di altezza.

La stessa proprietà della scintilla si rende manifesta coll' esperienza del mortajo elettrico (fig. 404); la figura rende inutile qualunque descrizione. La scintilla può accadere anche entro un liquido cattivo conduttore, che vien scosso analogamente a quanto

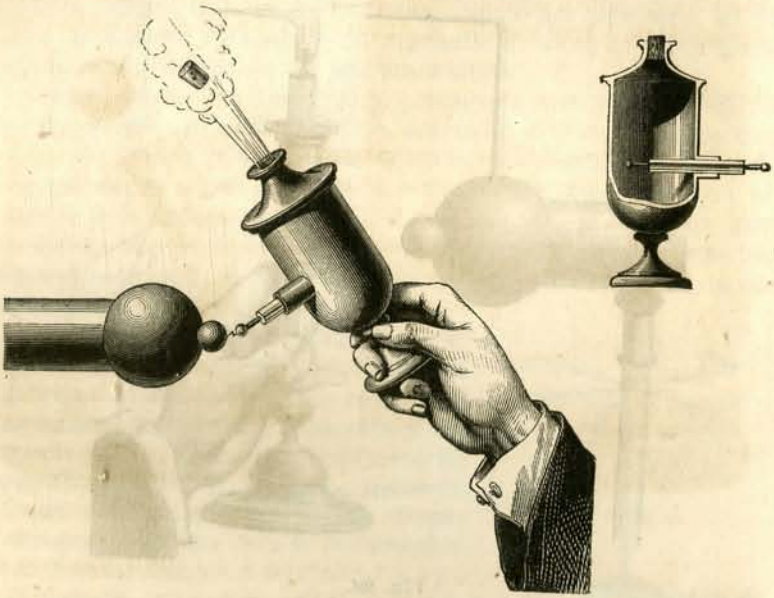


Fig. 405.

accade pei gas; se il liquido è rinchiuso in un vaso, questo può anche spezzarsi. Può scoccare la scintilla anche attraverso i solidi cattivi conduttori sotto forma di lamine; alla riuscita di queste esperienze occorrono però cariche elettriche considerevoli, le quali si ottengono con apparecchi dei quali si parlerà nel seguente capitolo.

La scossa molecolare occasionata dalla scintilla deve inevitabilmente produrre un'elevamento di temperatura. Si può infatti facilmente determinare l'infiammazione dell'etere, avvicinando al conduttore della macchina elettrica un vaso presentante al centro una sferetta, sporgente di assai poco dal liquido; quando la scintilla tocca la sferetta, l'etere si accende. Con scariche più potenti si pos-

sono infiammare sostanze meno accensibili dell' etere. Kinnersley attribuiva al solo riscaldamento il movimento del liquido del suo apparecchio; da qui il nome dato all' apparecchio stesso. Non è solamente nei corpi cattivi conduttori che accadono tali scosse molecolari allo scoccare della scintilla: fenomeni analoghi hanno pur luogo nei corpi conduttori, e se n' è visto una prova nell'influenza della qualità del metallo sul colore della scintilla. Si potrebbe d' altronde constatare direttamente il fatto, traendo una scintilla elettrica da una potente macchina, per mezzo di un conduttore in comunicazione col suolo e presentante nel suo percorso

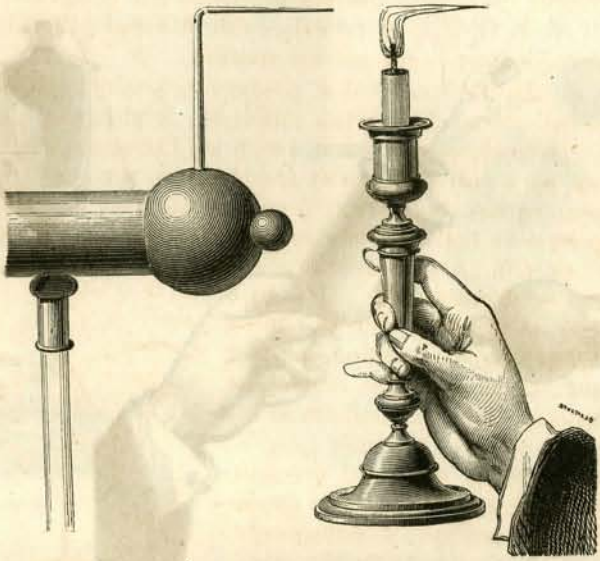


Fig. 406.

un sottilissimo filo metallico; questo, al momento della scarica, può riscaldarsi al punto da rendersi rovente.

482. Proprietà chimiche della scintilla. — La scintilla elettrica dà luogo a fenomeni chimici importantissimi. Se la scarica elettrica accade in un miscuglio tonante, formato da due volumi d' idrogeno e da un volume d' ossigeno, essa determina la combinazione dei due gas. L' esperienza si fa ordinariamente nella pistola di Volta. È questa formata (fig. 405) da un vaso di metallo contenente il miscuglio e chiuso da un tappo. La parete del vaso è attraversata da un asticina metallica isolata, terminata all' esterno ed all' interno da bottoni; il bottone interno si trova ad una piccola distanza dalla parete, tantochè, se si fa scoccare una scintilla sul

bottone esterno, la scintilla si riproduce all' interno ed infiamma il miscuglio.

Questo fenomeno è accompagnato da una violenta detonazione ed il tappo vien projettato lontano, circostanze queste, che spiegano il nome dato dal suo inventore a questo istrumento.

La scintilla elettrica produce spesso l'effetto opposto, vale a dire la scomposizione di una sostanza composta; il fenomeno però, in questo caso, non ha luogo che lentamente, ed occorre un gran numero di scintille successive. Facendo passare, per esempio, una serie prolungata di scintille elettriche nel gas ammoniaco, si vede aumentare gradualmente il volume del gas, dopo un certo tempo questo volume diventa precisamente doppio del primitivo, ed allora lo si trova formato di un miscuglio di azoto e di idrogeno; gli elementi costitutivi del gas ammoniaco.

Spesso questi due fenomeni si producono simultaneamente. Se si fa passare una scintilla in un miscuglio di idrogeno carbonato e di una conveniente quantità di ossigeno, l'idrogeno carbonato si decompone ed il suo idrogeno si combina con una parte dell' ossigeno per formare dell' aqua, il suo carbonio si combina pure coll'ossigeno e dà dell'acido carbonico. Si capisce di quale preziosa risorsa sieno alla chimica analitica queste reazioni eseguite in vasi appropriati detti *eudiometri.*

483. Vento ed arganetto elettrico. — Se sul conduttore della macchina elettrica si fissa un'asticina metallica ricurva ed appuntata (fig. 406), l' elettricità si disperde per la punta, che nell' oscurità presenta un fiocco elettrico. Gli strati d'aria vicini si elettrizzano per comunicazione e sono poi respinti dalla punta; nuovi strati vengono a sostituire i primi, di modochè, si produce nell'aria un movimento assai sensibile alla mano, ed abbastanza intenso da curvare, od anche da spegnere, la fiamma di una candela posta di fronte alla punta.

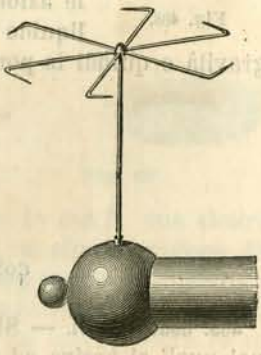


Fig. 407.

L' arganetto elettrico è formato (fig. 407) con asticine, tutte di ugual lunghezza, fissate ad una piccola cappa centrale per una delle estremità, e ricurve nello stesso senso all'altra estremità. Posta la cappa centrale sopra un perno fissato sulla macchina elettrica, colla disposizione rappresentata dalla figura, si vede il sistema entrare in movimento, in senso contrario alla direzione delle punte. Questo effetto è dovuto all' azione ripulsiva dell' aria elettrizzata sulle punte mobili; avvicinando la mano si sente assai

distintamente la corrente d'aria prodotta da ciascuna punta, e nell'oscurità si scorge il fiocchetto al loro estremo.

Onde l'esperienza riesca, è necessario che il rinnovamento dell'aria possa aver luogo in modo continuo attorno alle punte; in caso diverso l'apparecchio rimane immobile. Così pure, se si pone l'arganetto su di un supporto speciale fuori della macchina, e lo si copre con una campana di vetro rivestita da uno strato di vernice isolante, il movimento cesserà dopo pochi istanti, cioè, allorquando la massa d'aria all'interno sarà arrivata ad uno stato permanente di elettrizzazione. Nel vuoto, naturalmente, l'apparecchio non gira; ciò tronca subito negativamente la supposizione che il moto dell'arganetto sia dovuto, come lo è quello dell'arganetto idraulico, all'eflusso di un fluido dalle punte.

Fig. 408.

484. Inaffiatojo elettrico. — Si sospende alla macchina elettrica un vaso contenente un liquido e munito di orifici capillari (fig. 408). Quando l'apparecchio non è elettrizzato, il liquido effluisce goccia a goccia; ma quando si fa girare il disco della macchina, vedesi all'estremità degli orifici formarsi un filetto luminoso continuo di liquido. Si è osservato che la portata, nei due casi, è la stessa. Questo risultato era facile da prevedersi; giacchè le azioni mutue che si esercitano fra le particelle liquide non possono modificare l'effetto dovuto alla gravità e quindi la portata.

CAPITOLO VII.

CONDENSAZIONE ELETTRICA.

485. Condensatori. — Si dà il nome di condensatori ad apparecchi nei quali si arriva ad accumulare dell'elettricità in quantità più considerevole di quella che si sarebbe ottenuta per semplice comunicazione colla macchina elettrica. Un condensatore è essenzialmente formato da due piatti conduttori *A* e *B* (fig. 409), separati da una lamina isolante *C*. Si pone in comunicazione uno dei piatti, *A*, colla macchina, mentre l'altro, *B*, è in comunicazione col suolo; in queste condizioni il piatto *A*, che prende il nome di *collettore*, si carica di elettricità positiva, mentre il piatto *B*, detto *piatto condensatore*, si carica di elettricità negativa. Di più, la quantità di elettricità di *A* è maggiore di quella di cui si sarebbe ca-

ricato se lo si fosse semplicemente posto in comunicazione colla macchina elettrica. Infatti in questo caso, l'elettricità si sarebbe sparsa sul conduttore e sul piatto, in conformità alle leggi meccaniche della sua distribuzione; si sarebbe stabilito uno stato d'equilibrio nel quale le molecole vicine del piatto avrebbero provato da parte delle molecole circostanti, delle azioni uguali e contrarie. Si supponga ora di avvicinare il piatto *B;* questo si elettrizzerà per influenza; la sua elettricità positiva si disperderà nel suolo e l'elettricità negativa verrà attirata alla parte anteriore del piatto. Questo, agendo per via d'attrazione sull'elettricità della macchina, si capisce come l'equilibrio debba venirne distrutto, e come una nuova quantità di elettricità positiva, potrà passare sul piatto *A*. Questa nuova quantità di elettricità, producendo una nuova azione per influenza, si riprodurrà lo stesso fenomeno citato, e quindi si avrà nuova accumulazione di elettricità positiva sul piatto *A*, e di elettricità negativa sul piatto *B*. Il nome di condensatore è dunque così giustificato.

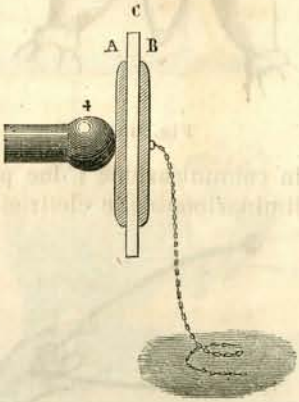


Fig. 409.

Questa accumulazione di elettricità ha però un limite, giacchè, ad una data quantità di elettricità positiva sul piatto *A*, corrisponde in *B* una quantità minore di elettricità negativa. La forza ripulsiva cresce dunque più rapidamente della forza attrattiva; si stabilirà dunque necessariamente un nuovo stato di equilibrio. Si dice allora che il condensatore è caricato. Del resto, anche continuando l'accumulazione, arriverebbe un momento in cui le due elettricità, in causa delle loro mutue attrazioni, si eliminerebbero, forando o lambendo la lamina isolante. E importante di evitare la produzione di questo fenomeno in questi apparecchi; bisogna perciò dare alla lamina isolante un'estensione od uno spessore in relazione colla potenza elettrica di cui si fa uso.

Quando il condensatore è caricato, le due elettricità non sono ugualmente distribuite sui due piatti. In fatto, il piatto *B*, comunicando col suolo, si può ritenere che alla sua faccia posteriore si trovi allo stato naturale; toccandola infatti col piano di prova non si ha alcun indizio di stato elettrico. Il piatto *A*, invece, comunicando colla macchina, presenta sulla sua superfice uno strato elettrico in continuità di quello dei conduttori. Si può anche ammettere, se le dimensioni del piatto collettore non sono troppo grandi, che la carica dei conduttori della macchina elettrica non sia modifi-

cata dalla loro comunicazione col condensatore. Si osserva infatti che il pendolino dell'elettrometro a quadrante, diverge della stessa quantità nei due casi.

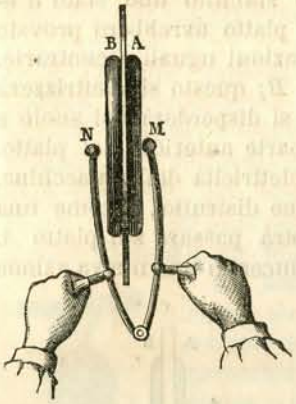


Fig. 410.

Se, per mezzo di un conduttore formato da due rami e cerniera muniti di manici isolanti di vetro e terminanti da sferette *M* ed *N* (fig. 410), si pongono in comunicazione i piatti *A* e *B*, si produce una brillante scintilla, proveniente dalla neutralizzazione della elettricità positiva colla negativa dei due piatti, ed il condensatore si trova così scaricato. Quando il condensatore è debolmente caricato, non è necessario di far uso del precedente apparecchio, conosciuto col nome di *eccitatore isolante*, *od a manici di vetro;* si può allora far uso dell'eccitatore semplice (fig. 411), formato da un arco metallico snodato, che serve a porre in comunicazione i due piatti. L'esperienza prova in fatto che l'eliminazione delle elettricità si compie sopratutto nel sistema dei conduttori, così che l'esperimentatore rimane estraneo al fenomeno. Se però si congiungessero i due piatti colle mani, la riunione accadrebbe attraverso il corpo, e si proverebbe allora una viva commozione.

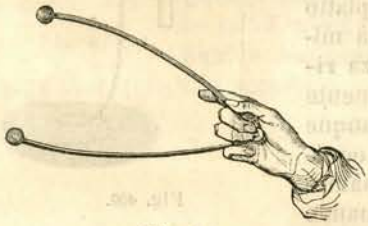


Fig. 411.

486. Scoperta di Cuneus. — Si deve appunto ad una commozione di questa specie la scoperta della bottiglia di Leyda, uno fra gli strumenti d'elettricità più noti. Nel 1746, Cuneus, allievo di Muschenbroeck, celebre fisico di Leyda, volendo elettrizzare dell'aqua, fece uso di una boccia a larga bocca, tenuta in mano (fig. 412), nella quale entrava una catenella, in comunicazione col conduttore della macchina elettrica. Dopo un certo tempo, Cuneus, onde abbandonare l'aqua a sè stessa, ritirò la catena conduttrice; al momento del contatto provò una commozione che gli causò grande spavento, così da fargli abbandonare la boccia, che andò a frantumarsi al suolo. Muschenbroeck, ripetuta l'esperienza, ne fu ancor più vivamente impressionato; gli occorsero due giorni per rimettersi dallo spavento, e scrisse a Réaumur, che non avrebbe ripetuta l'esperienza per il regno di Francia. La notizia di questa straordinaria esperienza si sparse nel-

l'Europa colla rapidità del lampo; tutti i fisici la ripeterono a loro posta; però, l'apparecchio usato, andò modificandosi e migliorandosi, fino a costituire ciò che si conosce sotto il nome di *bottiglia di Leyda*. È facile lo scorgere nell'esperienza di Cuneus un vero fenomeno di condensazione; la mano agisce da piatto condensatore, l'aqua della boccia corrisponde al piatto collettore, la lamina isolante è costituita della sostanza stessa di cui è fatta la boccia. Al momento in cui lo sperimentatore leva la catenella, stabilisce una comunicazione tra le elettricità dei due sistemi conduttori, e questa comunicazione è causa della commozione provata.

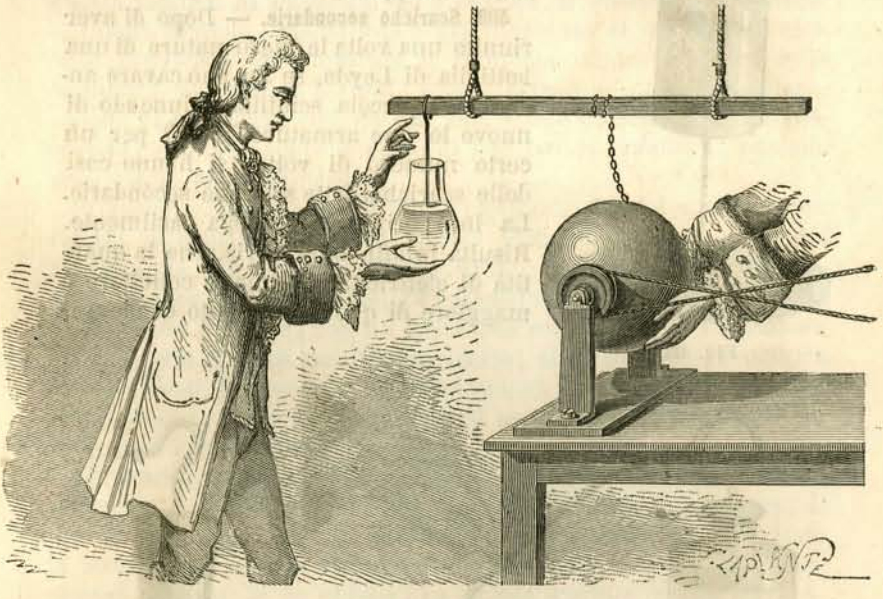


Fig. 412.

487. Bottiglia di Leyda. — La bottiglia di Leyda, quale la si costruisce oggigiorno, è formata da una bottiglia ricoperta all'esterno da una foglia metallica (fig. 413), che arriva fin quasi all'origine del collo. È riempita di foglie conduttrici in comunicazione con una asticina metallica che attraversa il tappo, e che termina all'esterno con un bottone. Siccome il vetro è assai igrometrico, ordinariamente si copre con ceralacca, o con un'altra vernice isolante, il collo e la bottiglia, fino all'origine del rivestimento metallico. La bottiglia di Leyda costituisce, come si vede, un condensatore; la foglia metallica esterna dicesi *armatura esterna*; l'asticina e le

Fig. 413.

foglie con essa in comunicazione formano l'*armatura interna*. Se si pone l'armatura interna in comunicazione colla macchina elettrica e l' armatura esterna in comunicazione col suolo, la prima si carica di elettricità, positiva e l'altra di elettricità negativa. Riunendo le due armature con un arco metallico, come lo mostra la figura 414, si produce una scintilla, la di cui intensità è in relazione col grado di carica e colle dimensioni dell'apparecchio.

488. Scariche secondarie. — Dopo di aver riunito una volta le due armature di una bottiglia di Leyda, se ne può cavare ancora una piccola scintilla, riunendo di nuovo le due armature, e ciò per un certo numero di volte: si hanno così delle scariche, dette scariche secondarie. La loro origine si spiega facilmente. Risulta infatti, dalla teoria, che la quantità di elettricità del piatto collettore è maggiore di quella del piatto condensa-

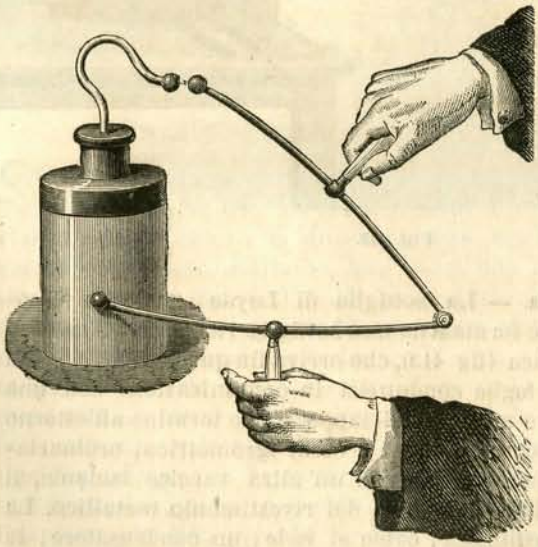


Fig. 414.

Fig. 415.

tore Dopo la scarica rimane dunque una certa quantità di elettricità sul primo piatto; questa determina la produzione di elettricità contraria sull'altro piatto, sempre però in quantità minore a sè ssessa; si dovrà dunque ottenere una seconda scintilla, la quale, teoricamente parlando, dovrebbe esser seguita da un'infinità di altre scintille: siccome però, in fatto, esse diminuiscono rapidamente di intensità, dopo poco tempo cessano dall'esser percettibili.

Il fenomeno di cui si tratta ha però anche un'altra causa. Le elettricità di nome contrario, attirandosi attraverso alla lamina isolante, devono portarsi, almeno in gran parte, sulle due faccie di questa lamina. Al momento della scarica, il difetto di conduttibilità della lamina, oppone una certa resistenza al movimento elettrico, resistenza che impedisce la completa neutralizzazione delle elettricità. Si produce pertanto successivamente una nuova disposizione di elettricità, così da dar luogo alle diverse scariche successive, le quali, sebbene sieno di pochissima intensità, possono però essere assai numerose.

Si verifica direttamente il fatto che l'elettricità del condensatore risiede principalmente sulla lamina isolante, facendo uso della bottiglia ad armature mobili (fig. 415), immaginata da Franklin. Dopo di aver caricata la bottiglia al modo ordinario, la si pone su di un piatto isolante; con un uncino di vetro si toglie l'armatura interna, che si tocca poi per scaricarla; si tocca pure l'armatura esterna, dopo di aver tolto il vaso isolante. Ricostituita la bottiglia, se ne ottiene una scintilla pressochè tanto viva, quanto la si sarebbe ottenuta direttamente.

489. Scarica successiva del condensatore. — Invece di scaricare istantaneamente la bottiglia facendo comunicare le due armature, si può procedere per contatti alternativi. Perciò, dopo di aver caricata la bottiglia, la si pone su di un piatto isolante, e se ne tocca l'armatura interna: se ne ottiene una piccola scintilla, dovuta allo scaricarsi nel suolo di una piccola parte dell'elettricità positiva. In causa di questo scaricamento, una parte dell'elettricità negativa, che era trattenuta in totalità alla superfice della lamina isolante, si presenta alla superfice dell'armatura esterna, dalla quale si può così ottenere una piccola scintilla. Gli è allora una parte dell'elettricità positiva che si manifesta sull'armatura interna, dalla quale si può dunque ottenere una nuova scintilla; e così di seguito. Evidentemente, ad ogni contatto non si toglie che una *frazione* dell'elettricità di cui l'armatura è caricata. Per scaricare dunque completamente il condensatore, occorrerebbe, teoricamente, un numero indefinito di contatti; ma, in fatto, siccome contemporaneamente vi ha disperdimento per parte dell'aria, succede sempre che, dopo

poco tempo, l'apparecchio ha perduta la totalità della sua elettricità.

La scarica per contatti alternativi può attuarsi colla così detta soneria elettrica (fig. 416). È questa formata da una bottiglia di Leyda, la di cui armatura interna è terminata da un campanello, e la esterna comunica, per mezzo di una lista di stagnola, con un altro campanello, portato da una colonna metallica. Tra i due campanelli è sospesa una pallottolina di metallo, isolata; questa, attirata dapprima dall'armatura interna, e quindi respinta, tocca l'altro campanello, perde l'elettricità positiva che possedeva, ed aquista la negativa. Vien perciò nuovamente attirata dal campanello corrispondente all'armatura interna, e così di seguito.

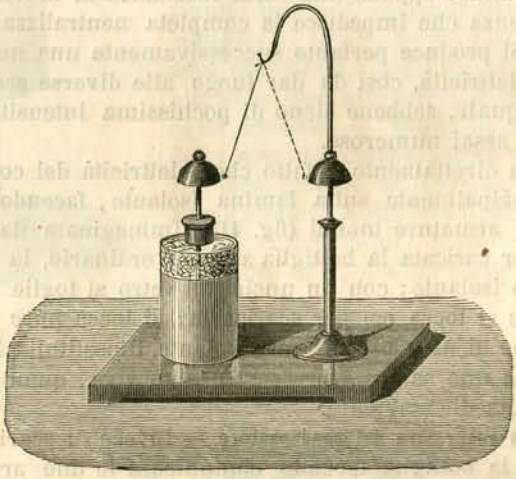


Fig. 416.

490. Potere condensante. — Dicesi potere condensante di un condensatore il rapporto tra la quantità *totale* di elettricità assunta dal piatto collettore, e quella che esso avrebbe preso, se fosse stato posto da solo in comunicazione colla macchina. Il potere condensante evidentemente è tanto più grande, quanto più sottile è la lamina isolante. Si capisce allora come, assottigliando gradatamente la lamina isolante, si possa giungere ad un potere condensante assai considerevole. Gli è però sommamente importante di osservare come, man mano che il potere condensante aumenta, la quantità di elettricità che si può accumulare va diminuendo, giacchè va diminuendo la resistenza che si oppone alla neutralizzazione delle elettricità. Devonsi dunque distinguere due specie di condensatori; gli uni, formati da una lamina isolante assai sottile, godono di un

potere assai grande e sono applicabili a sor genti d'elettricità assai deboli; gli altri, formati da una lamina isolante abbastanza grossa, godono di un mediocre potere condensante; ma si può raccogliere con essi una notevole quantità di elettricità, aumentandone le superfici delle armature.

Il potere condensante dipende anche dalla forma del condensatore, dall'estensione delle sue armature e dal loro modo di comunicazione colla macchina o col suolo, ecc.

Per istudiare l'influenza di queste diverse condizioni fisiche, si può, con vantaggio, far uso di un condensatore analogo a quello d'Epino, formato (fig. 417) da due piatti metallici *A* e *B*, sostenuti da piedi isolanti e separati da un disco di vetro *C*. La base dell'apparecchio presenta una scanalatura, la quale permette di

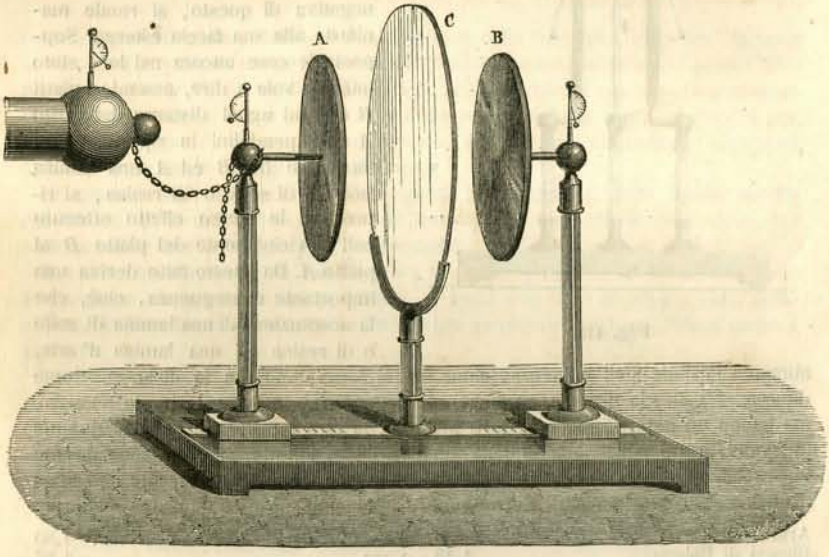


Fig. 417.

avvicinare o di allontanare i piatti metallici l'uno dall'altro. Per caricare l'apparecchio, si fa comunicare il piatto *A* colla macchina, mentre si tocca il piatto *B*, per metterlo in comunicazione col suolo.

491. Influenza della lamina isolante. — La condensazione dipende anche dalla qualità della lamina isolante. Questo importantissimo fatto si può mettere in evidenza coll'esperienza seguente: Un disco metallico *A* (fig. 418) è isolato ed elettrizzato; allato di questo disco, ad ugual distanza da esso, si trovano due altri dischi metallici, isolati, e muniti di pendolino alle loro faccie posteriori. Mentre si esercita l'influenza del piatto *A*, che supporremo elettrizzato positivamente, si pongono *B* e *C* in comunicazione col suolo, l'elettricità positiva si disperde ed i due piatti *B* e *C* rimangono elettrizzati negativamente. Ciò non ostante, l'elettricità negativa si trova esclusivamente sulla parte interna dei piatti ed i pendolini conservano quindi la posizione verticale. Se, in queste circostanze, si avvicina il piatto

B al piatto *A*, si vedono divergere i due pendoli e, col mezzo del piano di prova e di un'elettroscopio, si riconosce che l'elettricità della faccia posteriore del piatto *B* è positiva, mentre quella di *C* è negativa.

Questo doppio risultato è una naturale conseguenza dell'elettrizzazione per influenza. Infatti, il piatto *B*, avvicinandosi al piatto *A*, prova una nuova induzione, cosicchè, dell'elettricità positiva viene a rendersi manifesta sulla sua faccia esterna; contemporaneamente, essendo in esso aumentata l'elettricità negativa, questa fa aumentare di conseguenza l'elettricità positiva sulla faccia del piatto *A*, rivolta al piatto *B*; ne consegue una sensibile diminuzione dell'azione del piatto *A* sul piatto *C*, cosicchè, una parte dell'elettricità negativa di questo, si rende manifesta alla sua faccia esterna. Supposte le cose ancora nel loro stato iniziale, vale a dire, essendo i piatti *B* e *C* ad ugual distanza dal piatto *A* ed i pendolini in riposo, se si introduce fra *B* ed *A* una lamina isolante di solfo o di resina, si riproduce lo stesso effetto ottenuto coll'avvicinamento del piatto *B* al piatto *A*. Da questo fatto deriva una importante conseguenza, cioè, che la sostituzione di una lamina di solfo o di resina ad una lamina d'aria, aumenta l'azione dell'influenza, come se si fosse diminuita la distanza. Come dunque si vede, le diverse sostanze non agiscono solamente in modo passivo, ma hanno un potere inducente loro proprio; la loro influenza si esercita dunque in modo diretto sul fenomeno della condensazione, Farady, al quale sono dovute le precedenti osservazioni, ha tentato di misurare il potere inducente specifico di diverse sostanze isolanti. Ecco il potere inducente specifico di alcune sostanze:

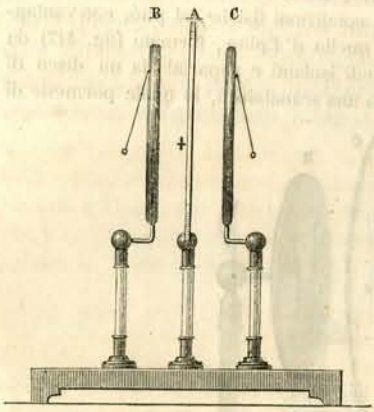


Fig. 418.

Aria	1,00	Pece	1,80
Bianco di Balena	1,45	Cera	1,86
Vetro	1,76	Gomma lacca	2,00
Resina	1,77	Solfo	2,24

492. Polarizzazione delle sostanze dielettriche. — I mezzi isolanti o dielettrici non trovansi, durante l'induzione, nello stato passivo che veniva ammesso prima di Faraday; ciascuno d'essi, invece, avendo un'azione propria, evidentemente questa azione deve dipendere da una particolare modificazione da essi provata. Secondo Faraday, questa modificazione consisterebbe in una specie di polarizzazione delle molecole, le quali, agendo successivamente le une sulle altre per influenza, si costituirebbero in due stati elettrici opposti sulle loro due metà, di modo che, le loro estremità diversamente elettrizzate, si troverebbero di fronte. Questa polarizzazione si mantiene per più o meno tempo nelle sostanze dielettriche; si deve però ammettere che essa ha sempre luogo e che costituisce il fatto generale dell'induzione elettrostatica. Nei corpi conduttori essa è, per così dire, istantanea, la ricomposizione ha luogo fra ciascuna molecola ed è solamente alla superfice che si manifestano le elettricità contrarie.

La polarizzazione delle sostanze dielettriche si rende manifesta chiaramente coll'esperienza seguente (fig. 419). In un vaso di vetro si versa dell'essenza di terebenteno, nella quale si sono posti dei filamenti di seta di 2 a 3 millimetri di lunghezza. Due asticine metalliche *A* e *B* terminano in punta all'interno e sono

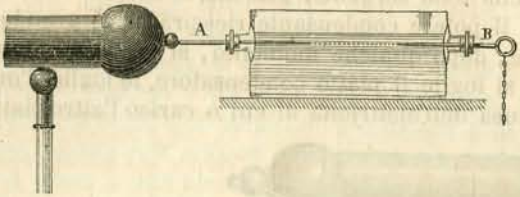


Fig. 419.

poste in comunicazione, l'una col suolo, l'altra colla macchina elettrica. Appena questa venga posta in azione, si vedono, come lo mostra la figura, i piccoli filamenti disporsi in fila in seguito gli uni agli altri e persistere in questa posizione con sufficiente forza, come si può assicurarsene tentando di rompere le fila per mèzzo di un tubo di vetro. Appena cessata l'azione della macchina, i filamenti ricadono istantaneamente al fondo del vaso.

Un esperienza di Matteucci dimostra questa polarizzazione in un modo ancora più diretto. Si fa una specie di pila con laminette di mica, che si comprimono poi fortemente le une contro le altre, terminandola con due armature metalliche.

Si carica questa specie di condensatore al modo solito, e, dopo di aver tolte le armature col mezzo di manici isolanti, si trova che tutte le lamine sono polarizzate; la loro faccia rivolta verso l'armatura positiva è positiva, l'altra faccia è negativa.

Da queste diverse osservazioni segue, che l'influenza non è già una specie di azione a distanza, d'altronde assai difficile a concepirsi, bensì una propagazione di movimento, ottenuta per l'intermezzo delle molecole dielettriche.

493. Elettroscopio condensatore. — Alla prima delle categorie sopracitate di condensatori appartiene l'elettroscopio condensatore di Volta, apparecchio che ha reso grandi servigi alla scienza dell'elettricità. Esso è formato da un'elettroscopio a fogliette d'oro, al di cui bottone è sostituito un piatto, coperto, alla parte superiore da una vernice isolante (fig. 420). Un secondo piatto, coperto alla sua faccia inferiore di vernice isolante, si appoggia sul primo, e forma con quello un condensa-

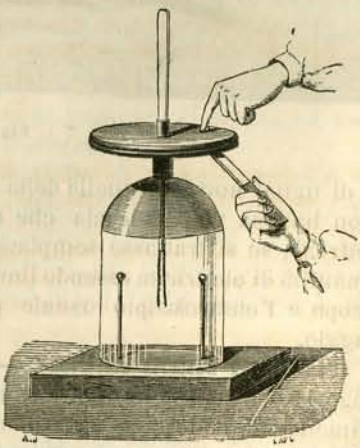


Fig. 420.

tore. Se, toccando il piatto superiore con un dito, si pone il piatto inferiore in comunicazione con una debolissima sorgente di elettricità, questa si accumulerà in quantità considerevole, relativamente a quella della sorgente; giacchè, la lamina isolante, essendo sottilissima, il potere condensante riescirà assai grande.

Se dunque, dopo qualche momento, si toglie la comunicazione col suolo e si toglie il piatto condensatore, le foglie d'oro divergeranno in causa dell'elettricità di cui è carico l'altro piatto, la quale

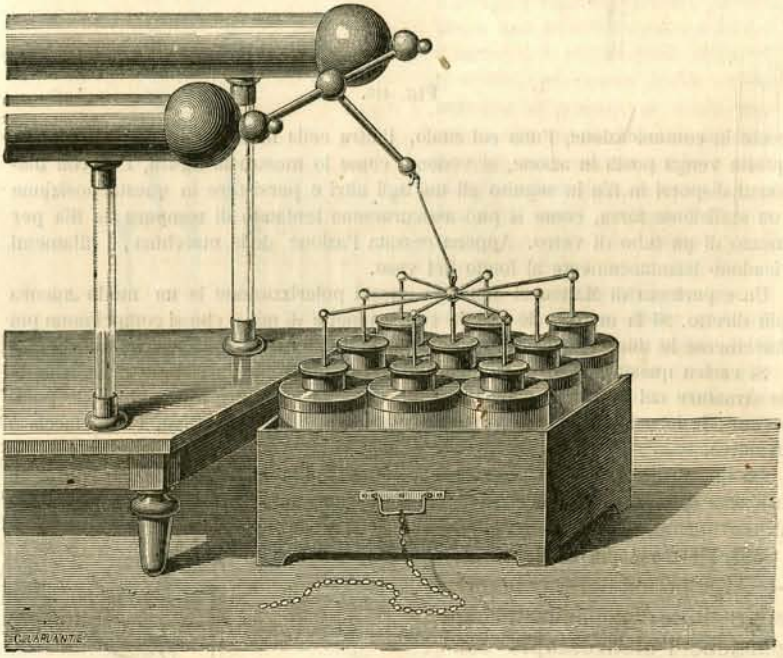


Fig. 421.

è di ugual nome di quella della sorgente. Il condensatore di Volta non ha una vera efficacia che quando si tratti di una *sorgente* elettrica; se si trattasse semplicemente di un corpo elettrizzato, la quantità di elettricità essendo limitata, la condensazione non avrebbe scopo e l'elettroscopio usuale potrebbe presentare lo stesso vantaggio.

494. Giare e batterie elettriche. — Gli apparecchi della seconda categoria sono, in generale, formati da bottiglie di Leyda di grandi dimensioni, conosciute sotto il nome di *giare elettriche*. Le *batterie elettriche* (fig. 421) son formate dalla riunione di un certo numero di giare, poste in una cassetta foderata in metallo: tutte le ar-

mature esterne sono, in questo modo, in comunicazione tra di loro e non ne costituiscono quindi che una sola. Le armature interne poi, son pure riunite con un sistema di bacchette metalliche, di modo che, una batteria non è in fatto altro che una grandissima giara, la di cui superfice conduttrice equivarrebbe alla somma delle superfici delle giare che la costituiscono.

Per caricare una batteria, si fa comunicare, come lo mostra la figura, l'armatura interna colla macchina; l'armatura esterna è in comunicazione col suolo per mezzo di una catena e di un'ansa di metallo, comunicante coll' interno della cassa. La completa comunicazione col suolo è una condizione assai importante; non basta di lasciar riposare la catena sul suolo, è conveniente, quando sia possibile, di farla comunicare a delle condotte d' acqua o di gas, od a qualche gran pezzo metallico, facente parte dell' edificio.

Malgrado queste precauzioni, quando le condizioni atmosferiche son poco favorevoli, il caricamento di una batteria riesce assai lungo e, qualche volta, anche impossibile. In fatto, l'addizione della batteria al conduttore della macchina, equivale all'aggiunta di un conduttore, la cui superfice sia uguale a quella della superfice effettiva dell' armatura interna, moltiplicata pel potere condensante. La stessa quantità di elettricità, dovendosi spandere su di un conduttore molto più esteso, la carica deve crescere con molta maggior lentezza. Di più, la superfice dalla quale ha luogo il disperdimento è essa pure più grande, giacchè è aumentata della superfice dell'armatura interna; l'uguaglianza fra la quantità di elettricità producentesi e quella che si sperde, dovrà dunque stabilirsi più presto che non quando il conduttore è solo.

Nel caricamento delle batterie si ha molto vantaggio a sostituire la macchina di Holtz alla macchina ordinaria. Si fanno perciò comunicare i due poli della macchina colle due armature della batteria. Quando l'aria è secca, la carica si ottiene con una sorprendente rapidità, ciò che prova la grande quantità di elettricità fornita da questo nuovo modello di macchina.

495. Figure di Leichtemberg. — La bottiglia di Leyda permette di eseguire un'esperienza, dovuta al fisico Leichtemberg, la quale pone in evidenza una differenza nelle proprietà fisiche delle due elettricità negativa e positiva. Gli è appunto per questa circostanza, che questa esperienza eccitò, all'epoca in cui venne pubblicata, un grande interesse.

Si prende al modo ordinario una bottiglia di Leyda carica, e col suo bottone si tracciano dei segni su di un piatto di resina; si pone quindi la bottiglia su di un isolatore, la si prende pel bottone, e si tracciano sul piatto altri segni coll' armatura esterna. Si pone poi in un soffietto un miscuglio di solfo e di minio, ridotti in fina

polvere, e si projetta questo miscuglio sul disco. Lo solfo, il quale, col suo strofinamento col minio, si è elettrizzato negativamente, si porta sui tratti positivi, ed il minio sui tratti negativi. Restano dunque così distinti, in giallo i tratti positivi, ed in color rosso i tratti negativi (fig. 422).

Si riconosce che le particelle di solfo, che nella fig. 422 son posti all'interno, formano delle speci di radiazioni lineari e divergenti,

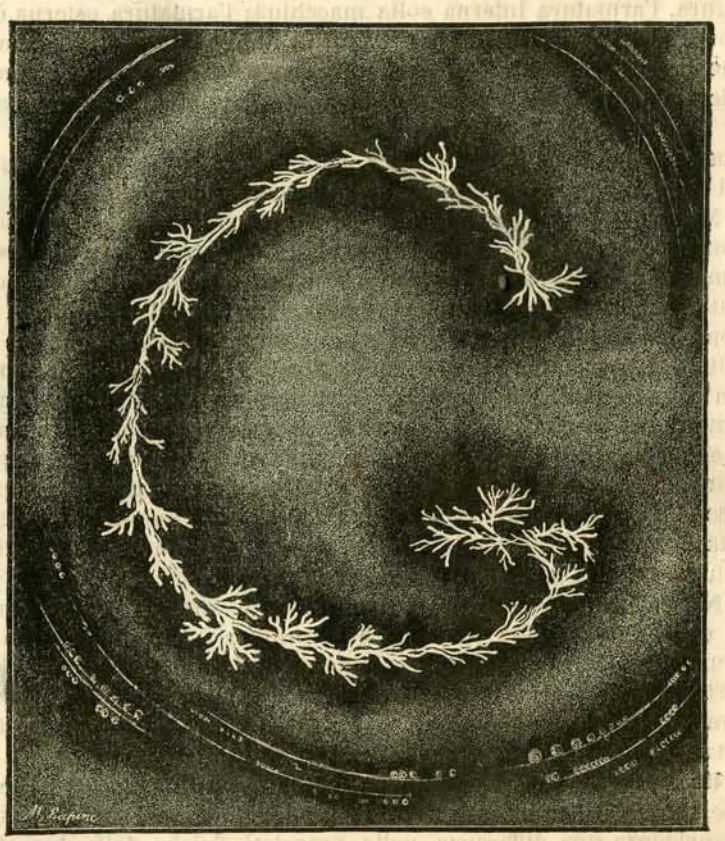


Fig. 422.

mentre il minio dà luogo a masse circolari. Una circostanza analoga venne già osservata a proposito dei fiocchi elettrici (1).

(1) Il prof. Ferrini, dietro alcuni studi di Bezold, applicò il principio sul quale si fonda l'esperienza delle figure di Leichtemberg, per dimostrare, in modo assai evidente ed assai elegante, alcune proposizioni sulla polarizzazione elettrostatica dei coibenti.

CAPITOLO VIII.

EFFETTI PRODOTTI DALLA SCARICA DEI CONDENSATORI.

496. Scarica delle batterie. — Col mezzo delle bottiglie di Leyda o delle batterie si possono avere degli effetti, i quali non differiscono, del resto, che per l'intensità, da quelli che si possono ottenere con una semplice scintilla elettrica. Gli effetti fisiologici vennero già indicati; essi si producono, per esempio, quando una persona, tenendo in mano una bottiglia di Leyda carica, ne tocchi coll'altra mano il bottone. La commozione, già assai viva con una bottiglia di piccole dimensioni, diventa pericolosa con una giara e, a maggior ragione, con una batteria.

Si può eccitare la commozione contemporaneamente in un gran numero di persone. Basta perciò che queste persone formino *catena* tenendosi per mano; la persona che trovasi ad una delle estremità tiene la bottiglia per l'armatura esterna, quella che trovasi all'altra estremità, ne tocca il bottone. Tutte le persone sembra provino la scossa nello stesso momento; per quelle però di mezzo

Il miscuglio delle polveri di solfo e di minio veniva projettato, con soffio moderato, sulla lamina coibente col mezzo di un soffietto destinato alla solfatura delle viti, leggermente modificato. Lo solfo si appiccica ai punti dove la risultante delle azioni elettriche è positiva il minio dov'è negativa; non avvi adesione ne dell'una ne dell'altra polvere dove questa risultante è nulla e nei punti neutri; cosicchè, le condizioni elettriche del coibente, riescono disegnate in modo altrettanto evidente e netto, quanto semplice è il mezzo adoperato.

Questo metodo di dimostrazione ha pur permesso al prof. Ferrini di seguire una macchina elettrica od elettroforica nelle fasi della sua azione.

Così, se si avvicinano gli elettrodi di una macchina Holtz, del modello rappresentato dalla fig. 387, in modo che essa abbia a scaricarsi solo nell'atto in cui si arresta il disco mobile, ed in questo istante si soffiano le polveri contro la faccia esterna del disco nominato, vi si vedono apparire, nei semicerchi limitati al diametro lungo cui sono allineati i pettini, altrettante semiperiferie concentriche all'asse, quanti sono i denti dei pettini: queste semiperiferie riescono di colore diverso nei due semicerchi, e propriamente, se nella parte superiore la rotazione di effettua dall'armatura positiva alla negativa, le semiperiferie superiori sono rosse, le altre gialle. I pettini si ricoprono pure del colore corrispondente al rispettivo segno elettrico, meno le loro estreme punte, che si tingono dell'altro colore, e così sul disco appajono altrettante macchiette del loro colore, le quali costituiscono quasi le origini delle descritte semiperiferie.

Nelle esperienze di questo genere bisogna aver cura di constatare che i coibenti sui quali si vuol operare sieno perfettamente allo stato naturale, ciò che può farsi con elettroscopi sensibili, ed anche colle polveri stesse.

NOTA DEL TRADUTTORE.

l'impressione è un po' minore. Si era già pensato di applicare questa commozione alla guarigione di certe malattie, quale la paralisi; ma i processi ideati a questo scopo sono ormai dimenticati. Tra le esperienze fondate sull'effetto fisiologico della scarica elettrica, si può citare quella del *quadro magico o fulminante*. È questo una lamina di vetro (fig. 423) le di cui faccie sono coperte da una foglia di stagnola. Si dispone il quadro press'a poco orizzontalmente, si fa comunicare la sua faccia superiore colla macchina elettrica, e la faccia inferiore col suolo. In queste condizioni, se una persona tenta di prendere una moneta posta sulla faccia superiore, al mo-

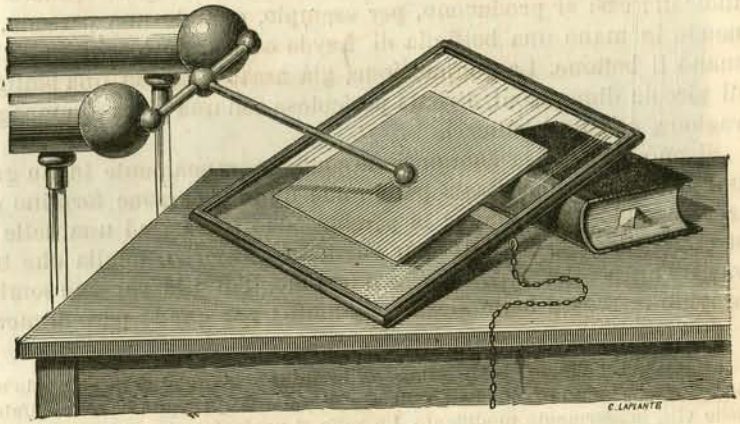


Fig. 423.

mento in cui le dita giungono a piccola distanza dalla moneta, la elettricità delle due armature si ricongiungono attraverso al suolo ed al corpo dell'esperimentatore; questo prova una forte scossa, che gli fa piegare le braccia e gli impedisce di prendere la moneta.

497. Riscaldamento dei fili metallici. — Quando la scarica accade attraverso ad un sistema di conduttori, si ha un elevamento di temperatura, dovuto alla scossa molecolare che accompagna sempre la riunione delle due elettricità. Col mezzo della bottiglia di Leyda o delle batterie, si può facilmente produrre l'incandescenza di fili assai sottili.

Si pongono perciò i fili, come lo mostra la figura 424, fra i rami di un apparecchio, detto *eccitatore universale*; questi rami sono in metallo e sostenuti da colonnette di vetro. Uno dei rami si pone in comunicazione coll'armatura esterna di una batteria, l'altro lo si fa comunicare coll'armatura interna, per mezzo di un eccitatore a manici isolanti. Al momento in cui scocca la scintilla, il filo si

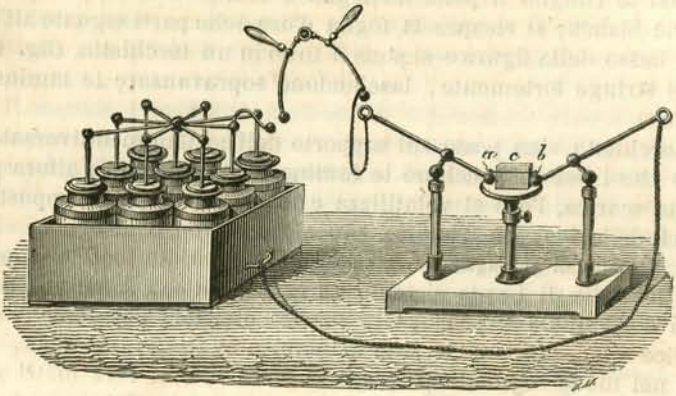


Fig. 424.

arroventa, fonde o brucia, a seconda della sua natura chimica, e lascia traccia su di un foglio di carta *C*, posto dietro ad esso. Quando si fa uso di uno filo d'oro, si ottiene una traccia violetta, formata dal vapore d'oro, traccia che presenta la più completa analogia colle macchie che il fulmine lascia sui muri, quando sia passato cordoni da campanelli contenenti fili dorati.

498. Ritratto di Franklin. — La volatilizzazione dell'oro diede origine ad una bella esperienza, conosciuta col nome di ritratto elettrico.

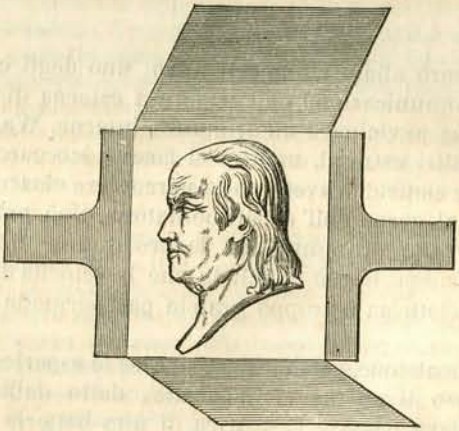


Fig. 425.

In un foglio di cartoncino si fanno dei ritagli, il di cui assieme formi un disegno, per esempio il ritratto di Franklin (fig. 425); a ciascun lato del cartoncino sono poi collate delle lamine di stagno.

Dinanzi al ritaglio si pone un foglia d'oro, e di dietro un piccolo cartone bianco; si ricopre la foglia d'oro colle parti segnate all'alto ed al basso della figura e si pone il tutto in un torchietto, (fig. 414), che si stringe fortemente, lasciandone sopravanzare le lamine di stagno.

Il torchietto vien posto sul supporto dell'eccitatore universale, in modo che i bottoni tocchino le lamine di stagno. Si fa allora passare la scarica, l'oro si volatilizza e forma, sui punti opposti ai trafori, delle macchie violette, che riproducono il disegno.

499. Velocità di propagazione dell'elettricità. — Subito dopo la scoperta della bottiglia di Leyda si tentò parecchie volte di misurare la velocità colla quale si propaga la scarica elettrica nella catena conduttrice che riunisce le due armature. Watson, nel 1748, operava nel modo seguente: Due fili di ferro lunghi 1872 metri eran disposti su supporti isolanti, e ripiegati in modo che i quattro e-

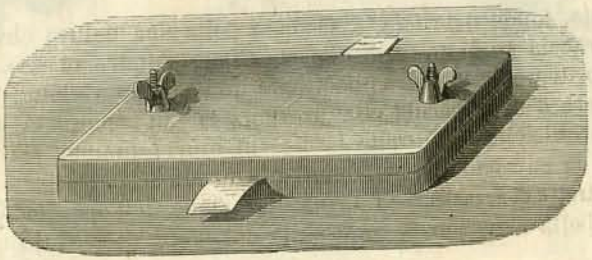


Fig. 426.

stremi riescissero allato l'uno all'altro; uno degli estremi intermedi era in comunicazione coll'armatura esterna di una bottiglia; l'altro si poteva avvicinare all'armatura interna. Watson prendeva in mano gli altri estremi, mentre si faceva scoccare la scintilla. Sebbene le due elettricità avessero da percorrere ciascuna 1872 metri per giungere al corpo dell'esperimentatore, non potè afferrare il minimo intervallo di tempo fra la produzione della scintilla e quello della scossa. Se ne conclude che la velocità di trasmissione della scarica elettrica è troppo grande per permettere una misura diretta.

Il signor Wheatstone, verso il 1836, riprese le esperienze di Watson, ma facendo uso di un metodo speciale, detto dello specchio girante. Egli faceva passare la scarica di una batteria in una catena presentante tre soluzioni di continuità, così da dar luogo a tre scintille. Operando innanzi allo specchio, si scorge uno spostamento nella posizione delle immagini, dovuta alla trasmissione nel conduttore. Secondo una delle esperienze, la scarica impiegherebbe $^1/_{1152000}$ di secondo a percorrere un filo di rame della lunghezza

di 400^m; lo spazio percorso in un secondo sarebbe dunque di $1152000 \times 400^m = 460800000$, vale a dire circa 115000 leghe; questa velocità è superiore a quella della luce che percorre 77000 leghe al secondo.

Il metodo di esperimentazione di Wheatstone presenta delle gravissime difficoltà di misura; non è dunque tanto ai numeri che si deve badare, quanto all'importanza del fatto per sè stesso. Infatti, da questa esperienza risulta che, al momento in cui si pongono in comunicazione le armature di una bottiglia di Leyda, si produce nei conduttori, a partire del contatto e nei due sensi opposti, una specie di corrente, che si propaga con estrema rapidità.

500. Resistenze relative. — È probabile, dietro le esperienze fatte ulteriormente sulle correnti elettriche, che i risultati riescirebbero differenti se si cambiasse la natura del filo; se, per esempio, si sostituisse al rame il ferro, o meglio ancora, il platino. Ciò deriva dalla differenza di conduttibilità elettrica dei diversi metalli, vale a dire, dalla maggiore o minore resistenza che offrono le loro molecole alla trasmissione dell' elettricità. L' elevamento di temperatura dei fili, dovendosi allo scuotimento delle molecole, deve riescire tanto più grande quanto minore è la conduttività. È appunto quello che risulta da diverse esperienze e, specialmente, da quelle del signor Riess. Nelle ricerche di questa natura, la quantità di elettricità adoperata a caricare la batteria vien misurata col mezzo di un apparecchio, detto *bottiglia elettrometrica di Lane.*

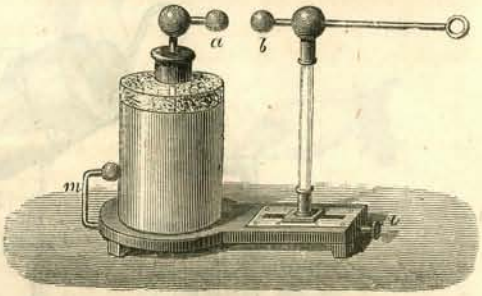


Fig. 427.

È una bottiglia di Leyda la di cui armatura esterna comunica, per mezzo della parte *m*, con una colonna verticale conduttrice (fig. 427). Alla sommità di questa può scorrere un' asticina *b*, cosicche si può porre il bottone che la termina a distanze variabili dal bottone *a*.

Per far uso dell'apparecchio si pone in comunicazione la sua armatura interna coll'armatura esterna della batteria isolata e si fa comunicare la colonna col suolo. Man mano che la batteria si carica, la bottiglia si carica essa pure. Quando la carica elettrica avrà raggiunto un certo limite, scoccherà una scintilla fra *a* e *b*, e si avrà una scarica spontanea della bottiglia. Dopo di che il caricamento rincomincia ed è evidente, che, se si conservano sempre alla stessa distanza fra loro i bottoni *a* e *b*, ciascuna scintilla equivale ad una quantità determinata di elettricità, quantità che può prendersi per unità. Le cariche successive di una batteria possono dunque misurarsi col numero di scintille scaricate dalla bottiglia elettrometrica.

501. Effetti meccanici. — La scarica elettrica attraverso i corpi cattivi conduttori, dà luogo a diverse esperienze assai note.

1.° *Fora carta.* — Si pone un pezzo di carta (fig. 428) fra due

punte, facenti parte di due guerniture metalliche, separate l'una dall'altra da una colonna di vetro. Si pone la parte inferiore dell'apparecchio in comunicazione coll'armatura esterna di una bottiglia di Leyda tenuta in mano; all'altro conduttore si avvicina il bottone della bottiglia stessa; scocca una scintilla, la quale si riproduce fra le due punte, e determina il perforamento della carta. In questa esperienza si osserva che il foro non si trova nel mezzo dell'intervallo tra le due punte, ma bensì in contatto colla punta negativa. Questo effetto sembra dovuto alla presenza dell'aria. Infatti, disponendo l'esperienza in modo da poter rarefare l'aria ambiente, si osserva che, man mano che la forza elastica diminuisce, il foro si avvicina al punto di mezzo dell'intervallo.

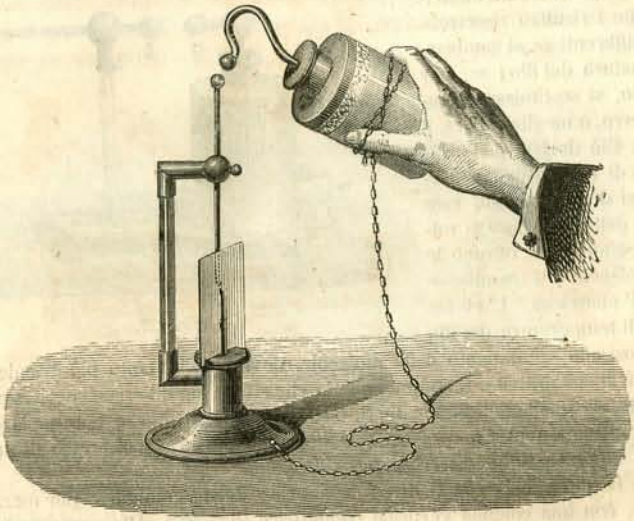


Fig. 428.

L'esperienza del fora carta si eseguisce assai comodamente colla macchina di Holtz. Si pongono perciò i due conduttori in comunicazione colle armature di un piccolo condensatore; il flusso elettrico, in questo caso, è sostituito da brillanti scintille, che si succedono fra i due poli con grande rapidità. Il fenomeno non è impedito dall'interposizione di una carta, solamente questa si trova crivellata da tante aperture, quante furono le scintille prodottesi attraverso al suo spessore.

2.° *Fora vetro.* — Il fora vetro è formato da un tubo che serve di sostegno ad una lastra di vetro (fig. 429), la quale viene così a trovarsi perfettamente in contatto con una punta metallica, posta nell'asse del tubo. Una punta mobile, collocata al disopra ed isolata

dalla prima, vien portata in contatto della faccia superiore della lastra. Si fa allora passare la scintilla, sia di una giara, sia di una batteria e, se l'esperienza riesce, si produce un foro, nel quale il vetro è polverizzato.

L'esperienza fallisce qualche volta perchè la scintilla lambe la lamina di vetro; gli è per tal motivo che si pone una goccia di olio sulla lamina, in contatto colla punta superiore. Questa precauzione non è sempre sufficiente e quando l'esperienza è fallita una volta, bisogna cambiar la lastra di vetro; facendo uso della stessa lastra, l'elettricità segue, per così dire, inevitabilmente la strada che si è tracciata nella prima scarica.

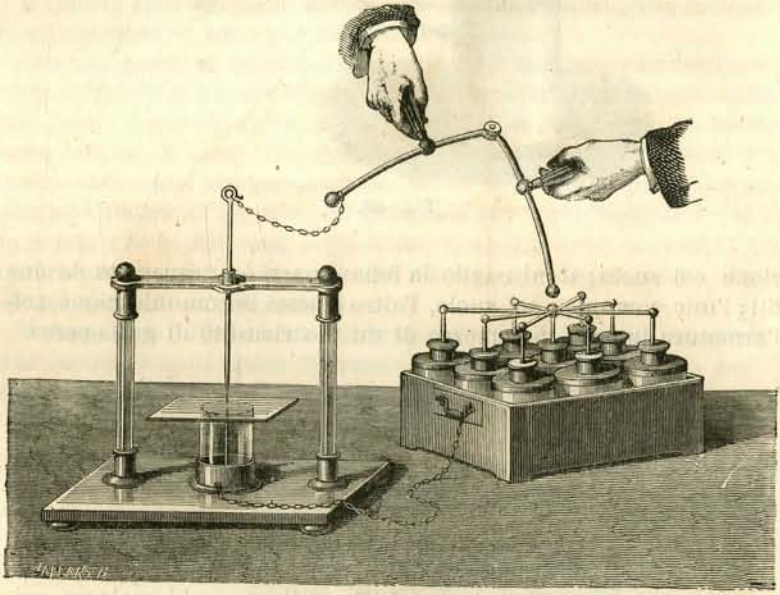


Fig. 429.

502. Effetti calorifici. — La potenza calorifica delle scariche delle bottiglie o delle batterie può essere notevole. Se ne possono ottenere degli effetti analoghi a quelli a cui dà luogo la scintilla, ma più intensi; così, per esempio, se si scarica una potente giara, col mezzo di un eccitatore, uno dei bottoni del quale è circondato di fulmicotone (fig. 430), questo, al momento in cui scocca la scintilla si accende.

Con una disposizione analoga si può infiammare del cotone usuale spolverato di resina.

In Austria si è fatto uso del passaggio della scintilla attraverso un miscuglio di polvere di solfuro di antimonio e di materie os-

sigenanti, per infiammare le mine. Le macchine usate a questo scopo sono macchine Winter, leggermente modificate dal colonnello d'Ebner. I conduttori della macchina sono di dimensioni assai ridotte e non se ne fa, a vero dire, alcun uso, giacchè l'operazione si limita alla carica di bottiglie. Queste vengono poste in comunica-

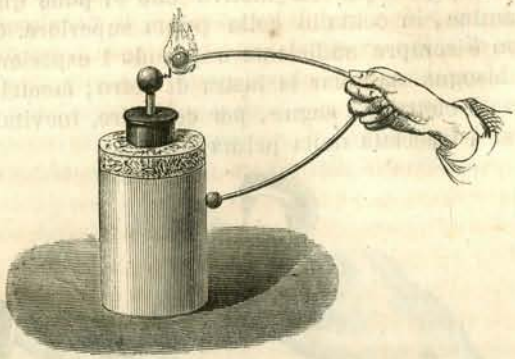


Fig. 430.

zione col suolo; il miscuglio da infiammarsi è attraversato da due fili; l'uno comunica col suolo, l'altro è posto in comunicazione coll'armatura interna, per mezzo di un filo rivestito di gutta-perca.

CAPITOLO IX.

ELETTRICITÀ ATMOSFERICA.

503. Analogie tra il fulmine e la scintilla elettrica. — L'analogia esistente fra gli effetti della scintilla elettrica e quelli della folgore, aveva già da tempo colpita l'immaginazione degli studiosi. Il fulmine, infatti, spezza, lacera i corpi cattivi conduttori, infiamma quelli combustibili; scalda, arroventa, fonde e volatilizza i metalli; colpisce in modo più o meno grave, spesso mortalmente, gli uomini e gli animali: sono questi appunto gli effetti della scintilla elettrica, e le differenze che si osservano non dipendono che dall'intensità (1).

(1) Per dare un'idea dell'intensità degli effetti prodotti dal fulmine, citiamo qualcuno dei fatti raccolti nella celebre Memoria di Arago sui temporali:

Il pacchebotto il New-York ricevette un colpo di fulmine il 19 aprile 1827. In cima all'albero maestro si trovava una bacchetta di ferro di metri 1,2 di lun-

Si aggiunga che i colpi di fulmine lasciano sempre dietro di loro un'odore caratteristico, affatto identico a quello che si prova in vicinanza ad una macchina elettrica in attività, odore, che, come è noto, non è altro che quello dell'ozono. D'altronde la forma della scintilla, la sua luce, il rumore che l'accompagna, richiamano talmente il lampo, che, quando Ottone di Guericke ottenne per la prima volta una piccola scintilla, stabilì subito un ravvicinamento tra i due fenomeni. D'allora in poi si ammise generalmente che questi due fenomeni presentanti manifestazioni tanto simili, devonsi attribuire ad una stessa causa e che la folgore non è altra cosa che un fenomeno elettrico.

« Questa idea mi piace assai, diceva l'abate Nollet, e quante ragioni speciose vi sono per sostenerla! ».

Ciò non pertanto questa non era che un'opinione plausibile. Si deve a Franklin l'onore d'avere, con una esperienza diretta, stata poi molte volte ripetuta, dimostrato che le nubi temporalesche sono cariche di elettricità. Questa esperienza consiste nel lanciare contro una nube temporalesca un cervo volante, terminato da una punta; l'elettricità agendo per influenza sul cervo volante e sulla funicella che lo trattiene, l'estremità di questa deve dare segni di elettrizzazione. È appunto ciò che Franklin potè osservare, dopo alcuni tentativi infruttuosi.

Press'a poco all'epoca in cui Franklin eseguiva questa memorabile esperienza, un fisico francese, de Romas, la eseguiva da parte sua (7 giugno 1753) ed in condizioni più favorevoli. La corda, lunga

ghezza, e di millim. 11 di diametro alla sua base, terminata all'estremità opposta da una punta assai acuta. La parte superiore della bacchetta venne fusa sopra una lunghezza di 3 decimetri. Una catena di 10 metri, fissata alla base dell'asta, venne fusa in tutta la sua lunghezza.

Il 12 luglio 1770, il fulmine cadde a Filadelfia sulla casa del signor Giuseppe Moulde. Vi penetrò per mezzo di una bacchetta di rame lunga 15 centimetri (di diametro sconosciuto) che soprastava al tetto, e la fuse completamente.

Nella notte del 14 al 15 aprile 1718, un colpo di tuono fece saltare il tetto ed i muri della chiesa di Gouesnou, vicino a Brest. Delle pietre furono lanciate in tutte le direzioni fino alla distanza di 51 metri.

Il 6 agosto 1809, a Swinton, un colpo di fulmine cadeva sulla casa del signor Chadwick. Il muro esterno del piccolo fabbricato, cantina e cisterna, furono strappati dalle fondamenta e sollevate in massa. L'esplosione li portò verticalmente a qualche distanza senza rovesciarli. Una delle estremità si era avanzata di 9 piedi, l'altra di 4. Il muro così trasportato poteva pesare circa 26 tonnellate.

Nella notte del 26 al 27 luglio 1759, il fulmine cadde sul teatro della città di Feltre. Uccise un gran numero di persone e ferì piu o meno gravemente le altre.

Il 18 febbraio 1770, un sol colpo di fulmine, fece cadere privi di senso *tutti* gli abitanti di Keverne (Cornouailles) che si trovavano riuniti nella chiesa pel servizio divino.

260 metri, era circondata, in tutta la sua lunghezza, da un filo di rame. L'estremità inferiore era isolata dal suolo con un cordoncino di seta; portava un cilindro di latta comunicante col filo di rame, cilindro destinato a cavarne delle scintille, nel caso di elettrizzazione. Lanciato l'apparecchio contro le nubi, de Romas pervenne, con un eccitatore isolante, a trarre dal cilindro una serie di scintille, delle quali qualcuna possedeva un' intensità ragguardevole. Una di queste, lunga circa 0,^{m} 30, lo colpì, malgrado l' eccitatore, e li diede una commozione tale, che poco mancò non lo rovesciasse.

504. Esperienza di Dalibard. — Prima ancora dell' esperienza di Romas, Dalibard, seguendo le indicazioni di Franklin, aveva disposto un apparecchio differente, che lo condusse agli stessi risultati. Consisteva in una spranga di ferro terminata in punta alla sua parte superiore, stabilita alla parte più elevata di una casa di Marly. Alla sua parte inferiore la spranga era isolata dal suolo e poteva porsi in comunicazione con diversi apparecchi propri a porre in evidenza la presenza dell'elettricità. L'esperienza venne eseguita con pieno successo il 10 maggio 1752; essendosi formato un uragano al di sopra di Marly, si poterono per molto tempo trarre, dalla parte inferiore della spranga, delle scintille, delle quali alcune avevano una notevole intensità.

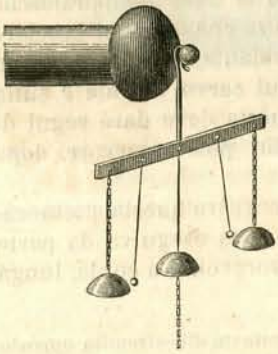


Fig. 431.

Molti studiosi ripeterono l' esperienza di Marly e sempre con più o meno di successo. Gli è appunto abbandonandosi a ricerche di questa natura, che il prof. Richmann di Pietroburgo venne mortalmente colpito (agosto 1753).

505. Scampanio elettrico. — Allo scopo di esser avvertiti dell' elettrizzazione della spranga, molti osservatori facevano uso dell'istrumento inventato da Franklin e conosciuto sotto il nome di *scampanìo elettrico* (fig. 431). È questo formato da una spranghetta metallica portante tre campanelli; di questi, i due estremi comunicano elettricamente colla spranghetta per mezzo di catenelle metalliche, il terzo ne è isolato e comunica invece col suolo. Due piccole sferette son sospese fra i campanelli con di fili di seta. Quando l'apparecchio si elettrizza, le sferette vengono attirate dai campanelli estremi, quindi respinte verso il campanello di mezzo, che li riconduce allo stato naturale. Da qui una serie di urti, che continuano per tutto il tempo pel quale la spranga rimane elettrizzata.

506. Teoria dell'uragano. — Dietro tali osservazioni, le nubi temporalesche devonsi considerare come corpi conduttori carichi di elettricità. Questi corpi, agendo per influenza sulla superfice della terra, può scoccare una scintilla tra esse ed un punto del suolo; dicesi allora che quel punto è fulminato. La luce della scintilla costituisce il lampo ed il rumore che la accompagna è il tuono. Spesso la scintilla si produce fra punti appartenenti alle nubi stesse; in questo caso si vede il lampo, si sente il tuono, ma non vi è alcun punto del suolo colpito.

507. Lampo. — Si distinguono diverse speci di lampo: 1° lampi sinuosi, formati da una linea sinuosa a zig-zag, i quali presentano la maggior somiglianza colla scintilla propriamente detta, 2° i lampi in massa, i quali consistono in un' illuminazione generale del cielo, e che forse altro non sono che lampi della prima categoria, visti attraverso ad un velo di nubi. L'illuminazione prodotta dai lampi della prima e seconda categoria, dura per un tempo appena apprezzabile e che non giunge certo ad un decimillesimo di secondo; è questo appunto uno dei caratteri della scintilla elettrica. Per constatare questa spece di istantaneità della scintilla, si fa uso di un disco diviso in settori alternativamente bianchi e neri (fig. 432), al quale si comunica un moto rapidissimo di rotazione. Se si osserva il disco alla luce ordinaria, ciascuno dei suoi punti darà luogo ad impressioni successive, le quali, se la rotazione è abbastanza rapida, cambieranno prima che sia cessata l'impressione dei punti precedenti sulla retina. Ne risulta l'impressione generale di una tinta grigia, miscuglio del bianco e del nero. Se si potranno distinguere i diversi settori, ciò dovrà attribuirsi al fatto che l' illuminazione ha durato per un tempo minore di quello che il disco impiega a spostarsi dall' arco corrispondente ad un settore. Si supponga, per esempio, che la velocità sia di 180 giri al secondo e che sul disco sieno tracciati 60 settori; ciascuno di questi avrà un valore angolare di 6°. Ad un secondo corrispondendo la rotazione di $180 \times 360° = 64800°$, una rotazione di 6° gradi corrisponderà ad $^1/_{10000}$ di secondo circa. Orbene, quando si osserva il disco girante alla luce del lampo, si distinguono assai nettamente, non già i settori distinti, ciò che non può aver luogo che con una luce istantanea, ma bensì delle parti bianche e nere separate da parti grigie. Se ne deve concludere che il lampo dura meno di $^1/_{10000}$ di secondo.

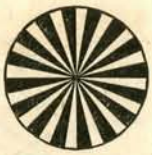


Fig. 432.

508. Lampo sferico. — Questi lampi differiscono notevolmente dai precedenti; sono sfere luminose che scendono dal cielo con una certa lentezza, che si mostrano per otto o dieci secondi; toccano

il suolo e ne sono spesso rimbalzati, come corpi elastici; qualche volta si fissano sulle punte di un parafulmine e scoppiano finalmente con una detonazione formidabile, producendo gli stessi effetti della caduta del fulmine. La scienza, nel suo stato attuale, non sa spiegare la natura dei lampi sferici, giacchè nessuna esperienza di gabinetto può dare idea sulla loro formazione. Si ha ciò non pertanto la prova che essi sono legati in modo continuo ai lampi delle due prime categorie. Infatti, l'incisore Solokoff, che assisteva Richman nelle esperienze di cui si è parlato, racconta che molte scintille di forma ordinaria erano state tirate dal conduttore e che quella che colpiva mortalmente il professore, si era staccata spontaneamente ed aveva una forma sferica.

509. Tuono. — Il tuono è accompagnato da una ridondanza caratteristica, della quale però si può facilmente rendersi conto. Infatti, le nubi non possono paragonarsi ai conduttori metallici, ed è probabile che, al momento in cui in qualche parte accade una scarica, un gran numero d'altre si producano in altre parti, in modo analogo a quanto succede nei tubi scintillanti. Si ha dunque una serie di esplosioni, il di cui rumore arriva successivamente all'orecchio dell'osservatore.

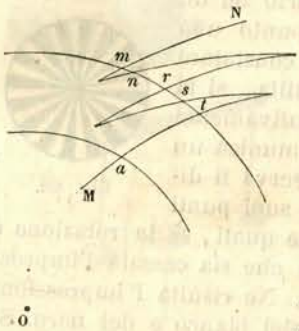


Fig. 433.

Se, per esempio, il lampo si produce secondo la linea sinuosa MN (fig. 433), si capisce come un osservatore posto in O, udirà dapprima l'esplosione che accade in a quindi, un po' dopo, le cinque esplosioni producentesi in m, n, r, s, t; si avrà dunque un aumento nell' intensità del suono. I colpi di fulmine si devono, invece, generalmente ad un'unica scintilla, perciò non presentano, ordinariamente, le ridondanze di cui si è detto, ed è abbastanza facile di distinguerli fra i molti colpi di tuono che si fanno udire in un temporale.

510. Contraccolpo. — Accade talvolta che ad una grande distanza dal punto dove cade il fulmine, uomini od animali, senz' essere colpiti da alcuna scintilla, provino delle violenti scosse ed anche sieno colpiti mortalmente. Questo fenomeno, conosciuto col nome di *contraccolpo*, è facilissimo da intendersi. Infatti, sotto l'influenza di una nube temporalesca, tutti i punti della superfice del suolo si trovano in un certo stato elettrico. Al momento in cui scocca la scintilla, l'equilibrio è rotto; si produce dunque in essi un brusco movimento elettrico, il quale può procurare gli stessi effetti prodotti direttamente dalla scintilla. Questo fenomeno si produce

continuamente in vicinanza alle macchine elettriche; i pendolini, gli elettroscopi, manifestano movimenti assai sensibili tutte le volte che si cava una scintilla. Una rana scorticata, prova, in tali circostanze, delle vivissime contrazioni. Gli è osservando per la prima volta questo fatto, che Galvani venne condotto ad esperienze, le quali dovevano poi dar origine ad una nuova parte della fisica.

Col mezzo del contraccolpo si può produrre l'esplosione nella pistola di Volta. Basta perciò disporre sui montanti della macchina elettrica uno di questi apparecchi, il cui bottone sia in comunicazione col suolo per mezzo di una catena metallica. Se mentre la macchina funziona, si cava una scintilla, si produce nella catena un movimento elettrico, che riproduce la scintilla nell'apparecchio e determina l'esplosione del miscuglio.

Si osservi però che i fenomeni di contraccolpo, gravi, ben constatati, a distanza un po' notevole dal punto direttamente fulminato, sono rarissimi; il colpo esplosivo non può infatti modificare lo

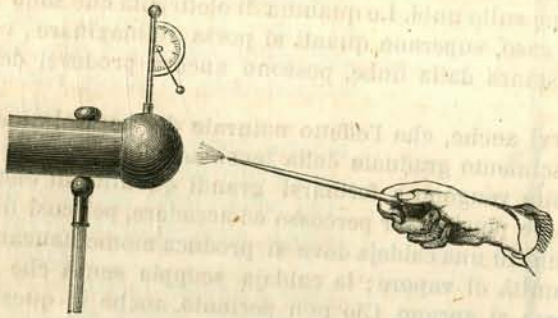


Fig. 434.

stato della nube che a piccola distanza. In vicinanza invece del punto dov'è caduto il fulmine, gli uomini e gli animali provano spesso degli attacchi più o meno violenti, i quali vengono attribuiti al colpo diretto e sono invece veri effetti del contraccolpo.

511. Parafulmini. — L'esperienza dimostra che l'elettricità si porta di preferenza sui migliori conduttori; si capisce allora che, se si arma un edificio con spranghe metalliche in comunicazione col suolo, il fulmine colpirà di preferenza queste masse conduttrici, e si sperderà nel serbatoio comune, senza che l'edificio provi danno alcuno.

È questo il principio essenziale dei parafulmini; indipendentemente da questa azione protettrice, questi apparecchi possono esercitare anche un'azione preventiva ed impedire, almeno nel maggior numero dei casi, i colpi di fulmine; basta perciò che questi conduttori terminino in punta alla loro estremità superiore. Con queste

condizioni, se una nube temporalesca esercita la sua influenza sul parafulmine, accadrà che l'elettricità omonima a quella della nube si disperderà nel suolo, l'elettricità di nome opposto si disperderà per la punta.

Mentre ha luogo il disperdimento per parte della punta del parafulmine, si ha neutralizzazione del punto corrispondente della nube, la quale si trova così parzialmente scaricata. Si rende assai manifesto questo effetto delle punte colla seguente esperienza.

Mentre una macchina elettrica è in attività ed il pendolo è al massimo di divergenza, si avvicina una punta al conduttore (figura 434); si vede allora ricadere il pendolino e non è più possibile di cavare alcuna scintilla dal conduttore. Nell' oscurità la punta presenta un pennacchio luminoso, immagine esatta di quello che si produce qualche volta alla punta dei parafulmini nei tempi di forte uragano. Non bisogna però, che con molta riserva, assimilare questa neutralizzazione del conduttore a quella prodotta dal parafulmine sulle nubi. Le quantità di elettricità che sono in giuoco in questo caso, superano quanti si possa immaginare, cosichè, a piccola distanza dalla nube, possono ancora prodursi dei colpi di fulmine.

Si osservi anche, che l'effetto naturale del parafulmine suppone un accrescimento graduale della tensione elettrica della nube; se ad un tratto vengono a formarsi grandi quantità di elettricità, il parafulmine potrà esser percosso ed accadere, per così dire, quello che avviene in una caldaja dove si produca momentaneamente una gran quantità di vapore; la caldaja scoppia senza che le valvole di sicurezza si aprano. Ciò non pertanto, anche in questo caso, se la comunicazione col suolo è ben stabilita, il parafulmine eserciterà l' azione protettrice di cui si è detto, ed il fulmine verrà diretto nel serbatojo comune, senza arrecar danno all' edificio.

512. Costruzione del parafulmine. — Onde il parafulmine presenti i preziosi vantaggi di cui si è parlato, è necessario che esso soddisfi a diverse condizioni. Queste condizioni sono importanti a conoscersi, tanto più che raramente un parafulmine è inoffensivo; se esso è mal costrutto, anzichè riescir di vantaggio, diventa di pericolo.

1.° La comunicazione col suolo deve essere la più perfetta possibile; il conduttore non deve presentare alcuna soluzione di continuità; tutte le giunture devono essere fatte con saldature metalliche e sopra una superfice abbastanza grande. Se in vicinanza all'edificio si trova un pozzo, vi si deve far giungere il conduttore; se il suolo è secco si fa terminare il conduttore stesso con tre o quattro rami sepolti nel suolo e circondati da bragia o da coke.

2.° Il conduttore deve presentare una sezione abbastanza grande

da non poter esser fuso da un colpo di fulmine, e disperso in goccie infiammate sull'edificio. L'istruzione pubblicata nel 1823 dall'Accademia di scienze di Parigi, porta il minimo di questa sezione a cent. 2, 25.

3.° Le grandi masse metalliche facenti parte dell'edificio, tettoje, travature, ecc. devono venir con somma cura poste in comunicazione col parafulmine, onde l'elettricità di nome contrario, prodotta dall'influenza della nubi, possa dispersi.

La figura 435 rappresenta la disposizione dell'asta; questa ha 5 o 6 centimetri di lato alla base e la sua sezione va gradatamente diminuendo, fino al luogo dove si avvita la punta. In *l l'* si trova il rannodamento col conduttore *b*. La figura 436 rappresenta la punta di rame dorato, che ora si sostituisce generalmente alla punta di platino altre volte impiegata.

Quando l'edificio debba esser armato di diversi parafulmini, si distribuiscono, ammettendo che ogni parafulmine protegga un raggio sensibilmente doppio della sua altezza.

Nelle nuove istruzioni intorno ai parafulmini, redatte dal signor Pouillet nel 1854, si consiglia l'uso di un braccio stendentesi orizzontalmente nel suolo a piccola distanza dalla superfice. Finchè il suolo è secco la sua azione è insignificante e l'asta verticale è la sola che funzioni; ma quando il suolo è reso assai conduttore dalla pioggia, è desso che agisce, per così dire, da solo; in ogni caso, completa l'azione del ramo verticale.

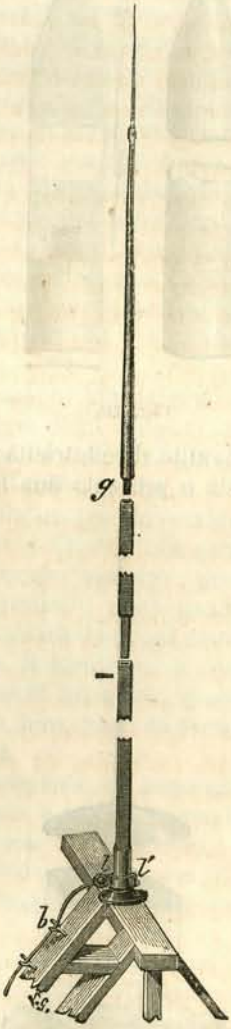


Fig. 435.

513. Elettricità ordinaria dell'atmosfera. — Non solo le nubi temporalesche sono caricate d'elettricità; l'aria è sempre, in qualunque stagione, elettrizzata. Quando il cielo è sereno, questa elettricità è sempre positiva; può divenir negativa quando il cielo si copre, quando piove, o sotto

l'influenza di uragani producentesi a distanza più o meno grande dal suolo. Quando il cielo è burrascoso, l'aria si trova elettrizzata ora positivamente, ora negativamente, e queste alternative possono succedersi con molta rapidità.

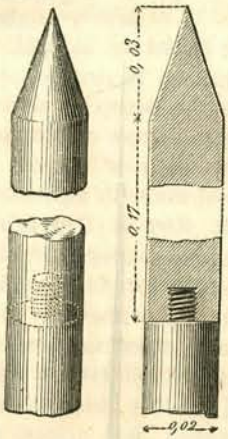


Fig. 436.

Si studia l'elettricità atmosferica per mezzo dell'elettroscopio a foglie d'oro, al quale si fissa superiormente un'asta terminata in puuta (fig. 437). Se si vuole esplorare lo stato elettrico di strati di aria posti ad altezza un po' considerevole, si lancia una freccia attaccata ad un filo, la di cui estremità forma un anello allacciato mollemente intorno all'asta dell'elettroscopio. Al momento in cui questo anello si stacca, la divergenza è prodotta dall'elettricità omonima a quella dello strato in cui si trova la freccia. È appunto con esperienze di questa natura che si è potuto conoscere che la quantità di elettricità sparsa nell'aria varia nel corso della giornata e presenta due massimi e due minimi. Le ore di questi massimi e minimi sono variabili colla stagione e, certamente, legati allo stato igrometrico dell'atmosfera. Si è trovato pure che, generalmente, la terra è elettrizzata negativamente, che lo stato positivo non si manifesta che ad una certa distanza dal suolo e va crescendo di intensità coll'altezza.

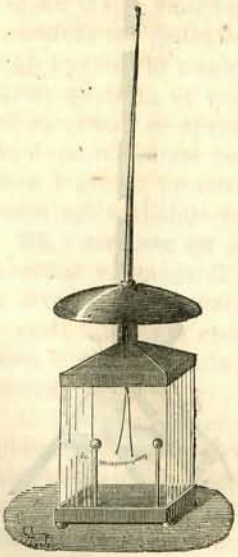


Fig. 437.

514. Cause dell' elettricità atmosferica. — Assai varie sono le cause dell'elettricità atmosferica; lo strofinamento degli strati d'aria contro il suolo o fra di loro; i fenomeni chimici, la vegetazione, vi contribuiscono senza dubbio, ma in senso ed in misura non ancora ben determinate dall'esperienza. L'evaporazione dell'aqua è pur causa di sviluppo di elettricità, purchè però quest'aqua non sia pura, ma contenga una certa quantità di sostanze saline; tutta l'aqua che si evapora alla superfice del suolo è in questo caso. Il vapore trasporta con sè l'elettricità positiva; si capisce facil-

mente allora come l'evaporazione contribuisca potentemente a produrre lo stato negativo del globo.

515. Formazione degli uragani. — Quantunque le esperienze precedenti bastino per spiegare la produzione dell'elettricità nei tempi ordinari; sebbene, d'altra parte, non vi ha dubbio che gli uragani debbano attribuirsi a fenomeni elettrici, pure si è lontani dal poter spiegare dettagliatamente come gli uragani stessi si formino, come accada l'accumulazione di quantità così prodigiose di elettricità, che si manifestano qualche volta con migliaja di esplosioni in qualche ora. Si può, è vero, ammettere che al momento in cui il vapore si condensa per formare le nubi, esso trascini con sè, in causa della propria conduttività, l'elettricità disseminata nell'aria; non si ha però così che un'idea incompleta del fenomeno. Si è osservato che spesso l'uragano è preceduto da un'abbassamento continuato, e spesso notevole, del barometro. Si sa che un'abbassamento brusco della pressione è un segno caratteristico della presenza delle burrasche, le quali son sempre, dal più al meno, elettriche.

516. Grandine. — La grandine ha evidentemente un'origine elettrica, giacchè essa non cade che colle pioggie degli uragani. È ordinariamente in primavera od in estate, nel momento il più caldo della giornata, quasi mai, cosa curiosa, nella notte, che si ha la grandine. Le nubi grandinose hanno anche un'aspetto caratteristico; son poco elevate, di una tinta grigia piuttosto omogenea, e nel loro interno si sente una specie di rombo sinistro, pronostico ben conosciuto dagli agricoltori. Le grandini sono generalmente formate da un nocciuolo nevoso circondato da strati concentrici di ghiaccio, formatisi successivamente. Il loro peso è spesso notevole; spesso esse raggiungono il volume di un uovo; qualche volta anche, diverse grandini si saldano fra loro, così da formare delle masse del peso di alcuni chilogrammi.

A spiegare come corpi di un peso così notevole si sostengano nell'aria, vennero proposte diverse ipotesi più o meno contestabili. Volta supponeva che le grandini fossero poste fra due strati di nubi contrariamente elettrizzate, ed andassero dall'un strato all'altro, in causa della ripulsione provata nel raggiungere uno degli strati.

Nei gabinetti di fisica si eseguisce un'esperienza, conosciuta col nome di *grandine elettrica*, la quale dà un'idea della supposizione di Volta. Fra due piatti metallici (fig. 438), dei quali uno comunica col suolo e l'altro colla macchina, si pone un certo numero di pallottole di midollo di sambuco. Facendo girare il disco, vedonsi le pallottole saltellare vivamente: attirate dal piatto superiore, vengono in seguito respinte, si scaricano sul piatto inferiore, e

sono quindi di nuovo attirate. Qualche volta alle pallottole si sostituiscono dei piccoli fantoccini in midollo di sambuco; si ha così la vecchia esperienza della *danza elettrica.*

Evidentemente la teoria di Volta non sostiene l'esame, giacchè, dal momento che le grandini sieno penetrate nella nube inferiore, non avvi più alcuna ragione perchè abbiano ad alzarsi nuovamente, giacchè infatti esse son sottoposte a forze ripulsive agenti in tutti i sensi. Se si ammette, come si è portati a credere oggigiorno, che tutti gli uragani son dovuti a ciò che dicesi movimento vorticoso, è a questo moto stesso che conviene attribuire la sospensione della grandine, senza bisogno di ricorrere ad una teoria speciale. Ciò che v'ha di certo si è che le grandini eseguiscono nell' atmosfera dei moti, dei quali alcuni osservatori furono testimoni oculari. È poi senza dubbio all'urto dei diversi grani che devesi attribuire il rumore che si sente sempre prima della caduta della grandine. (Vedi nota a pag. 339).

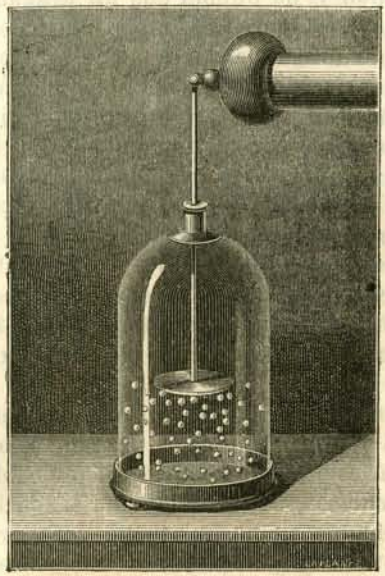


Fig. 438.

517. Trombe. (Fig. 438). — Le trombe sono pure fenomeni elettrici; costituite per sè stesse da un movimento vorticoso di grandissima energia, esse prendono dall'elettricità un carattere particolare, che spiega i prodigiosi effetti meccanici di cui sono capaci. Per rendersene conto, si osservi che, in uragano, ogni goccia di pioggia che cade sul suolo, porta con sè una parte dell'elettricità della nube. Si ha, per così dire, su di una grande estensione e da una infinità di punti, una spece di efflusso di elettricità; fatto questo che contribuisce a far diminuire e finalmente ad estinguere i fenomeni temporaleschi. Se si immagina che una parte della massa delle nubi, sotto l'azione del movimento rotatorio, formi una spece di cono la di cui punta giunga a piccola distanza dal suolo, sarà per questa via, relativamente assai limitata, e per così dire unica, che avrà luogo il disperdimento di elettricità; sulla punta si accumuleranno delle quantità enormi di elettricità; ed è in questa circostanza piuttosto che nel turbine, che bisogna cercare la spie-

gazione degli spaventevoli fenomeni da esso prodotti. Quando infatti la punta raggiunge la superfice della terra, nulla resiste al suo passaggio; gli alberi vengono sradicati, le case rovesciate; le navi vengono sollevate sopra le onde e respinte con straordinaria violenza. L'elettricità si scarica esclusivamente dalla punta; infatti allora il tuono cessa dal rumoreggiare, ed odesi solamente un continuo e sordo rumore nel seno della colonna, la quale, d'altronde, si illumina, specialmente al vertice, di fosforescenze elettriche.

Pare che alla punta regni una temperatura assai elevata, così

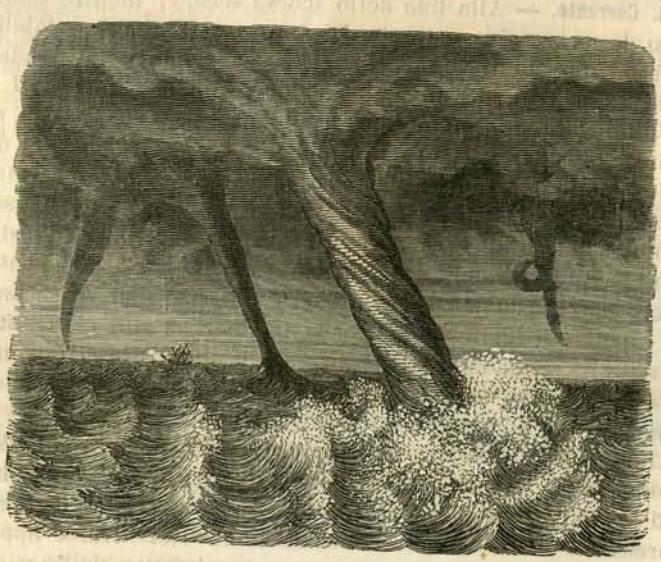


Fig. 439.

da produrre un rapido disseccamento. Peltier ha riprodotto in piccolo questo fenomeno, disponendo al disopra di una massa liquida un globo costantemente elettrizzato coll'azione di una macchina elettrica, e munito di asticine, alcune terminate in punta, altre arrotondate; egli ha potuto così constatare un'evaporazione tre volte più rapida che non nelle condizioni ordinarie. Nelle Antille ed alle regioni tropicali, la tromba propriamente detta può aggiungere i suoi effetti a quelli dovuti al moto rotatorio, il quale aquista, in quelle contrade, un'energia straordinaria; perciò questi fenomeni, che vi si conoscono sotto il nome di *cicloni*, di *tornados*, danno luogo a disastri appena credibili.

Migliaja di persone uccise, città distrutte dalle fondamenta e

spianate, raccolti completamente rasi, tali sono gli effetti del ciclone che, nel corso del 1867, ha devastata l'isola di San Tomaso.

CAPITOLO X.

DELLA PILA E DELLE CORRENTI.

518. Corrente. — Alla fine dello scorso secolo, mentre Coulomb, dietro le successive scoperte dei fenomeni elettrici, stabiliva le leggi dei fenomeni stessi col metodo sperimentale, e fondava la teoria fisica dell'elettricità, un nuovo istrumento, dovùto al genio di Volta, comparve a cambiare completamente l'aspetto di questa scenza. I fisici trovarono nella pila una sorgente continua di elettricità, facile a prodursi, facile a preservarsi dai disperdimenti, e che, d'altra parte, dà origine all'osservazione di una serie di fenomeni affatto nuovi. L'importanza e la varietà di questi fenomeni, il carattere delle applicazioni, che non tardarono ad attuarsi, ebbero per conseguenza di mandare, per così dire, al secondo posto, e come di interesse mediocre, le ricerche sull'elettricità ottenuta per istrofinamento. Gli sforzi degli studiosi si portarono tutti su questo nuovo ramo della fisica, il quale, in pochi anni ha aquistato uno sviluppo considerevole.

Allo scopo di questi nuovi studi si è dato il nome di *elettricità dinamica*, per opposizione a quello di *elettricità statica*, applicato ai fatti studiati nei capitoli precedenti. Si possono giustificare queste espressioni colle seguenti considerazioni. Nei diversi apparecchi di elettricità statica si comincia sempre, infatti, dall'accumulare una quantità più o meno grande di elettricità positiva e negativa sopra conduttori determinati, ed è dopo questa accumnlazione che si provoca la riunione delle due elettricità, così da produrre una scarica.

È questa un vero fenomeno di movimento, sia che si supponga che si producano nella totalità della catena conduttrice due correnti inverse, sia, com'è più probabile, che la trasmissione risulti dalla decomposizione da molecola a molecola. Nella bottiglia di Leyda questo fenomeno particolare non dura che un istante. Nei conduttori opposti della macchina di Holtz, si ha una serie di scariche succedentesi con gran rapidità, così da mantenere i conduttori nello stato di cui ora si è parlato. Ciò non ostante, per quanto queste scariche sieno vicine, pure esse sono distinte e risultano sempre dalla produzione *anteriore* di una certa quantità

di elettricità. Se si immagina che questa produzione anteriore non esista, che rigorosamente ed in modo continuo si abbia la riunione delle due elettricità contrarie nel filo conduttore, non è difficile di capire come questo filo si debba trovare in uno stato particolare. Esso non si manifesta elettrizzato alla maniera ordinaria, non attira i corpi leggeri, non fornisce scintille; ciò non ostante esso non è allo stato naturale, giacchè, se lo si avvicina ad un ago magnetico, produce su questo una deviazione. Il fenomeno speciale di cui il filo è la sede dicesi *corrente* ed è caratterizzato dallo stato dinamico delle elettricità e, come si vede, una delle sue proprietà caratteristiche è quella di far deviare l'ago magnetico.

519. Elemento reomotore o produttore di corrente. — Onde realizzare la condizione di cui ora si è detto, bisogna ricorrere all'elettricità che si sviluppa nelle azioni chimiche. È noto, e del resto si ritornerà più tardi su questo argomento, che qualunque azione chimica è accompagnata da uno sviluppo di elettricità; in altri termini, il lavoro meccanico consumato nell'urto delle particelle, si trasforma in calore od in elettricità. In particolare, quando in un mezzo conduttore si fa agire uno sull'altro un'acido ed una base, l'acido si elettrizza positivamente e la base negativamente. Così pure, qnando un metallo è attaccato da un'acido, questo si elettrizza positivamente ed il metallo si elettrizza negativamente.

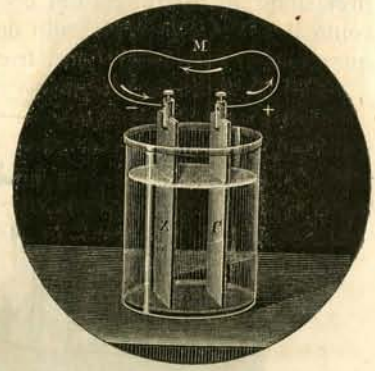


Fig. 440.

Ciò posto, si supponga che in un vaso (fig. 440), contenente dell'aqua acidulata con acido solforico, per esempio, si pongano di faccia l'una all'altra due lamine, una *Z* di zinco, vale a dire di un metallo attaccabile dall'acido solforico, l'altra *C* di rame, o di qualunque altro metallo non attaccabile. Si supponga inoltre che un filo conduttore *M* riunisca all'esterno le due lamine. Pel contatto dello zinco coll'aqua acidulata si produce un'azione chimica, il di cui risultato è la produzione dell'idrogeno e del solfato di zinco. Lo zinco si elettrizza negativamente, e si può ritenere che l'elettricità negativa si spande nel filo esterno. In quanto all'elettricità positiva, questa si spande dal rame nel filo stesso, seguendo un cammino opposto. Nel filo conduttore ha dunque luogo riunione delle due elettricità opposte. Questa riunione si effettua in modo

H? Sol solfato di zinc

? Come mai?

riunione di due elettricità opposte

continuo, senza alcuna possibilità di preesistente accumulazione: è questo il carattere distintivo di ciò che dicesi corrente. Il filo gode infatti della proprietà di deviare l'ago magnetico.

L'apparecchio che si adopera alla produzione della corrente dicesi *elemento reomotore* od *elemento di pila.*

520. Senso della corrente. — Il fenomeno complesso della corrente elettrica risulta da due movimenti opposti dell'elettricità. Ciò non ostante ha per sè stesso un senso determinato, giacchè l'ago magnetico, come lo si vedrà in seguito, non è deviato in un modo qualunque, ma dipendente dalla disposizione reciproca delle lamine del reomotore. Non si è però in misura di assegnare l'analogia che passa tra il fenomeno della corrente elettrica e quello di una corrente ordinaria. L'espressione corrente, applicata all'elettricità, non ha invero che lo scopo di indicare un senso. Per la precisione di linguaggio si è convenuto di dire senso della corrente il senso del movimento dell'elettricità positiva; nelle figure questo senso è indicato con freccie.

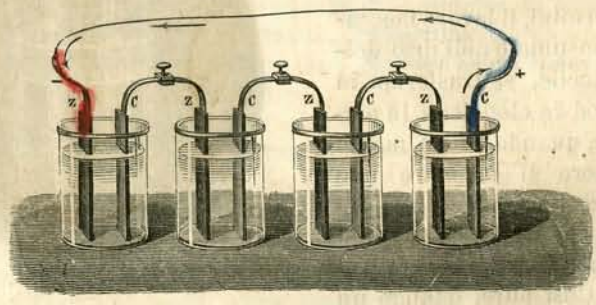


Fig. 441.

521. Pila. — Si supponga ora (fig. 441) che si dispongano gli uni in seguito agli altri un certo numero di elementi e si faccia comunicare il rame del primo collo zinco del secondo, il rame del secondo collo zinco del terzo, ecc, e finalmente che si riunisca, con un filo, il rame dell'ultimo elemento collo zinco del primo; ciascun elemento agirà individualmente nel modo detto di sopra, e si produrrà una corrente nel sistema conduttore, del quale gli altri elementi fanno parte. Di conseguenza nel filo esterno la corrente riescirà più intensa, vale a dire sarà suscettibile di deviare l'ago magnetizzato con maggior energia od, in generale, di manifestare in modo più spiccato le proprietà che caratterizzano la sua natura fisica; una simile riunione di elementi reomotori porta il nome di *pila.* L'estremità che presenta lo stato elettrico positivo dicesi polo positivo; l'altra estremità dicesi polo negativo.

I due fili fissati ai poli vengono spesso designati col nome di *reofori*; i loro estremi diconsi *elettrodi*.

522. Storia della pila. — Non è secondo le viste ora esposte che i fatti venivano considerati dall'inventore della pila. Questa meravigliosa scoperta fu, in realtà, il risultato di esperienze male interpretate e di una teoria che oggigiorno non può sostenersi.

1780 Verso l'anno 1780, Galvani, professore di anatomia a Bologna, si occupava di ricerche sull'irritabilità nervosa delle rane; l'animale veniva, per questo scopo, preparato nel modo seguente. Le estremità inferiori e la testa venivan tagliate con un colpo di forbice, ed i membri inferiori, rapidamente spogliati dalla pelle; questi membri si lasciano riuniti per mezzo dei soli nervi, i quali possono così servire a sospendere l'animale. In queste condizioni Galvani osservò come, ogni volta che si trae una scintilla dalla macchina elettrica, la rana prova una spece di commozione. Questo fenomeno non era altro che un contraccolpo, come si è già detto. Galvani variò le condizioni dell'esperienza; fece uso di animali di specie diversa, di elettricità presa da sorgenti diverse, ed è appunto nel corso di questi studi, che durarono parecchi anni, che Galvani venne portato al fatto fondamentale dell'elettricità voltaica. Egli trovò (l'esperienza primitiva venne fatta nel 1786) che, ponendo in comunicazione i nervi della rana coi muscoli, per mezzo di un arco formato da due metalli differenti (fig. 442), rame e zinco, per esempio, al momento in cui ha luogo il contatto, l'animale prova una commozione.

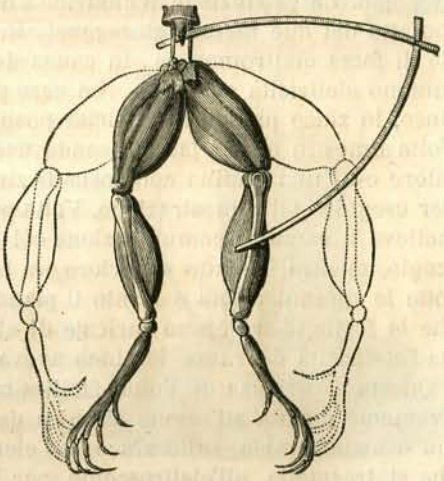


Fig. 442.

Galvani rame zinco

Galvani ebbe spesso l'occasione di osservare che il fenomeno, producentesi sempre, qualunque sia la natura dell'arco conduttore, è però assai più marcato usando di un arco eterogeneno.

Questa circostanza, della quale Volta seppe trarre un tanto profitto, non parve a Galvani che di un'importanza secondaria, giacchè egli attribuiva questi fenomeni ad una corrente propria dell'animale e non assegnava all'arco conduttore che l'ufficio di con-

VOLTA!

duttore. La corrente propria della rana è oggigiorno constatata in modo formale; ciò non ostante, l'effetto sopra osservato è di gran lunga più vivace di quello che questa corrente sia capace di produrre. Questo aumento d'effetto è dovuto all'azione chimica dell'aria, o dei liquidi animali, sui metalli alterabili. Questa azione, ai tempi di Galvani, era malappena intravvista e, per rendersi conto dell'effetto incontestabile dei metalli, Alessandro Volta, professore a Pavia, ricorse ad una dottrina che può sembrare singolare e, che ciò non pertanto, lo condusse alla scoperta della pila.

523. Teoria di Volta. — Volta ammetteva che la rana, nell'esperienza di Galvani, ha un'azione puramente passiva, è un semplice elettroscopio. La produzione di elettricità ha origine, a suo credere, dal contatto dei due metalli eterogenei; in questo caso si ha una specie di forza elettromotrice, in causa della quale i due metalli assumono elettricità contrarie. Nel caso particolare del rame e dello zinco, lo zinco prende l'elettricità positiva ed il rame la negativa. Volta dimostrò questo fatto, facendo uso dell' elettrometro condensatore e di una lamina composta di zinco e rame saldati fra loro. Per eseguire tal dimostrazione, Volta prendeva in mano lo zinco e metteva il rame in comunicazione col piatto inferiore dell'elettroscopio, mentre il piatto superiore era in comunicazione col suolo; rotte le comunicazioni e levato il piatto superiore, Volta riconobbe che le foglie d' oro erano caricate di elettricità negativa. Era questa l'elettricità del rame, lo zinco aveva preso l'elettricità positiva.

Questa esperienza di Volta, facilissima da ripetersi, è però effettivamente dovuta all'azione chimica dell'aria o della mano, sempre più o meno umida, sullo zinco; è l'elettricità negativa dello zinco che si trasmette all'elettroscopio per l' intermezzo del rame. Se, come lo faceva Volta, si toccasse il piatto dell' elettroscopio collo zinco, avendo però cura di interporre fra i due metalli un pezzo di stoffa imbevuta di aqua acidulata (senza di che non si osserverebbe alcuna deviazione), il piatto si caricherebbe dell' elettricità positiva dell'aqua acidulata.

524. Pila. — Comunque sia, Volta ammetteva, come conseguenza delle sue esperienze, che al contatto di due metalli eterogenei, in generale, al contatto di due differenti sostanze, si sviluppi una forza elettromotrice, in virtù della quale le elettricità contrarie son mantenute separate. Si produce quindi uno stato di equilibrio fra le attrazioni mutue delle due elettricità e la forza elettromotrice.

Dietro ciò, si supponga che su di una lastra isolante (fig. 443) si ponga un disco formato da due dischi, uno di rame e l'altro di zinco, saldati uno sull' altro; l' equilibrio si stabilisce ed i due metalli costitutivi della coppia sono elettrizzati contrariamente.

Si ponga al disopra del rame una rotella di panno *d*, imbevuta di aqua acidulata, ed in seguito un'altra coppia, disposta come la prima; questa dividerà, per conduttività, l'elettricità dello zinco; ma, in causa della propria forza elettromotrice, si avrà un nuovo sviluppo di elettricità, cosicchè l'intensità elettrica del secondo zinco, sarà maggiore di quella del primo. Per la stessa ragione, il rame della prima coppia avrà un' intensità elettrica maggiore di quello della seconda. Facilmente si capisce che, in seguito a questa indipendenza di azione, propria a ciascuna coppia, l'intensità della carica elettrica anderà aumentando alle estremità o poli della pila, col crescere del numero delle coppie, così che, riunendo queste estremità con un filo metallico, si avrà una corrente, la di cui intensità sarà in relazione col numero delle coppie.

Questa è l'origine dell'invenzione della pila; fu verso l'anno 1800 che Volta pubblicò questa scoperta, scoperta che giustamente venne considerata come la più importante della fisica moderna, quella che ebbe l'influenza la più decisiva sul progresso e che ha dato luogo ad applicazioni le più svariate ed interessanti.

VOLTA 1800 SCOPERTA

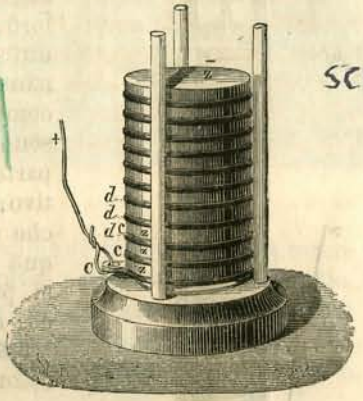


Fig. 443.

Davanti all' importanza di questa scoperta, sparve, per così dire, l'interesse col quale gli scenziati seguirono la discussione intavolata tra Volta e Galvani. Gli è così che passò inosservato il fatto notevole che, cioè, nel corpo degli animali risiede dell' elettricità in condizioni proprie a produrre, in certi casi, una corrente in un determinato senso.

Circa alle idee teoriche che servirono di guida a Volta, esse non possono sopportare un' esame serio e sono per così dire in manifesta contraddizione colle idee più fondamentali ammesse. Infatti, se vi ha principio assoluto, questo è quello che le forze fisiche non si possono creare, che esse nascono le une dalle altre per trasformazioni diverse; ma che non è in nostro potere di crearle o di distruggerle, come non è in nostro potere di creare o di distruggere la materia. Come concepire allora che la corrente, la quale è sciuscettibile di produrre dei fenomeni attivi di diversa natura, possa aver per origine il fenomeno passivo del contatto? Si ha qui piena contraddizione. Si osservi funzionare l'apparecchio; mano mano che all'esterno dell'apparecchio si producono i lavori propri della corrente, si scorge all' interno un lavoro corrispon-

dente, del quale l'altro è la trasformazione e la conseguenza; il lavoro chimico. Se dunque si utilizza per diverse esperienze il calore, la luce od un'azione meccanica qualunque, dovuti alla corrente, ciò può aver luogo perchè un certo lavoro chimico si è compiuto e si è parzialmente trasformato; non è dunque che dietro una certa spesa che si possono ottenere determinati effetti, e ciò è conforme al principio fondamentale della meccanica.

525. Pila a colonna. — La pila di Volta ha ricevuto, dalla sua invenzione, diverse modificazioni di forma, delle quali noi indicheremo le più conosciute.

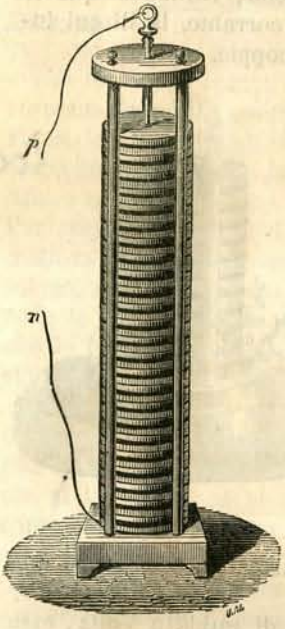


Fig. 444.

La pila a colonna (fig. 444) è la realizzazione primitiva dell'idea dell'inventore. È formata da una serie di doppi dischi di rame e di zinco, saldati fra loro, disposti nel medesimo senso gli uni sugli altri e separati da rotelle di panno imbevute di aqua acidulata. Se, come ha luogo nella figura, gli zinchi sono alla parte superiore, è da questa parte che si deve trovare il polo positivo, giacchè è verso questa estremità che si porta l'elettricità positiva dell'aqua acidulata; all'estremità inferiore si porta l'elettricità negativa dello zinco; è qui che si trova il polo negativo.

526. Pila a corona di tazze. — La pila a colonna non può utilmente prestarsi alle esperienze che devono durare qualche tempo; diffatti, man mano che il numero degli elementi va aumentando, il peso dei dischi superiori preme il liquido dalle rotelle inferiori, che così queste si disseccano e perdono la loro conduttività. Volta stesso immaginò la pila a corona di tazze, della quale si dà qui sotto la figura.

Un certo numero di tazze, disposte le une dopo le altre a circolo, contengono dell'aqua acidulata (fig. 445). I vasi comunicano l'uno coll'altro per mezzo di archi metallici formati da una lamina di zinco saldata ad una lamina di rame. La comunicazione ha luogo per ciascun vaso alla stessa maniera, vale a dire che, a partire da una delle estremità della catena, l'arco è immerso, col rame nell'elemento che lo precede, e collo zinco nell'elemento che segue. I due vasi estremi della serie ricevono, l'uno una lamina di zinco, l'altro una lamina di rame, munite ciascuna di un filo conduttore. Al primo corrisponde il polo negativo, all'altro il polo positivo.

527. Pila a truogoli. — La disposizione delle lamine metalliche essendo assai incomoda, non si tardò a sostituire la pila a corona di tazze colla pila a *truogoli*, il di cui uso si rese abbastanza generale. È per mezzo della pila a truogoli dell'istituto reale, formata da

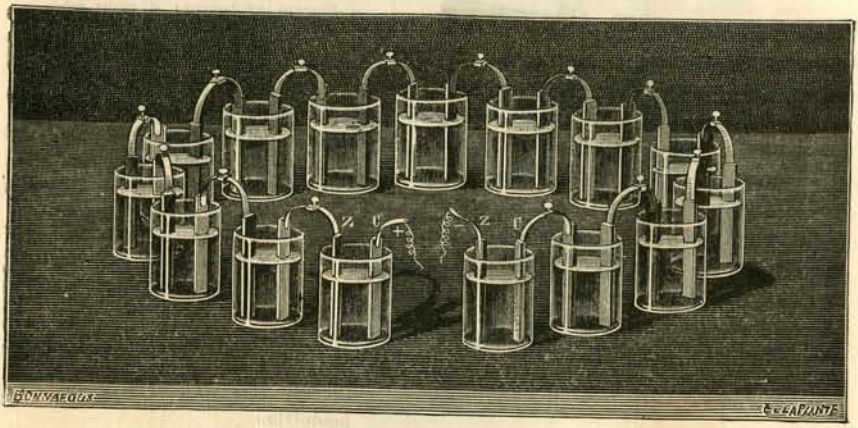


Fig. 445.

3000 coppie, che Davy riuscì, al principio di questo secolo, a scomporre la potassa e la soda ed a scoprire così il potassio ed il sodio.

La figura 446 rappresenta la disposizione di questa pila, la di cui invenzione è dovuta a Cruiskshank. È una cassa rettangolare, divisa in compartimenti o truogoli mediante doppie lamine di rame e

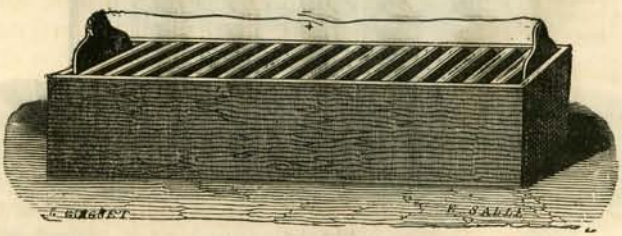


Fig. 446.

di zinco saldate fra loro; lo zinco vi figura con maggior spessore, e nel disegno si trova a sinistra. Si riempiono i truogoli con aqua acidulata e negli scomparti estremi si immergono due lamine di rame munite di reofori; al primo scomparto a sinistra corrisponde il polo positivo, all'estremità opposta il polo negativo.

528. Pila di Wollaston. — La pila a truogoli è di maneggio difficile in causa del suo peso; d'altronde, il legno della cassa si incurva facilmente sotto l'azione degli acidi. La disposizione immaginata da Wollaston è assai piu vantaggiosa.

Un' elemento di Wollaston è formato (fig. 447) da una lamina di zinco *Z* circondata da una lamina di rame *C*, che però non la tocca, il contatto essendo impedito con pezzetti di legno o di sughero. Quando si vuol porre l' elemento in attività, lo si immerge in un vaso contenente dell'aqua acidulata; il polo negativo si stabilisce sul reoforo in comunicazione collo zinco ed il polo positivo sul reo foro comunicante col rame.

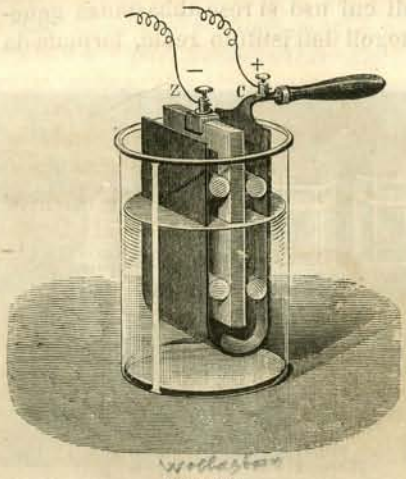


Fig. 447.

Per riunire diversi elementi in pila, si fa successivamente comunicare il rame di un elemento collo zinco dell'elemento seguente. I diversi elementi così costituiti possono fissarsi, come lo mostra la figura 448, ad una traversa; quando si vuol servirsi della pila, si fanno pescare gli elementi separatamente in diversi vasi contenenti l' aqua acidulata.

529. Pila di Muncke. — La necessità di un vaso per ogni elemento della pila

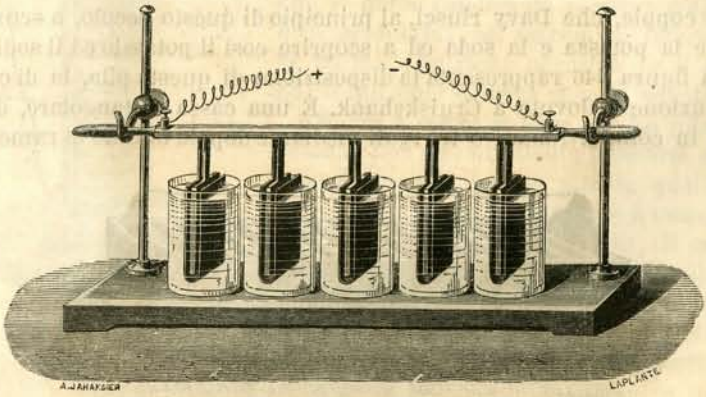


Fig. 448.

di Wollaston, la rende un po' ingombrante quando si tratti di un gran numero di elementi; la pila di Muncke, sotto questo punto di vista, è assai ben disposta, e si può avere sotto un volume molto ridotto, un gran numero di elementi. Le lamine di zinco e di rame son saldate (fig. 449) secondo una linea verticale e disposte in forma di U imboccantisi alternativamente gli uni

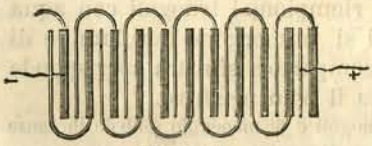


Fig. 449.

negli altri, così da rendere completo l'alternarsi dei metalli. L'assieme degli elementi forma un sistema unico, che può venir fissato ad un telajo di legno, il quale, quando si vuol servirsi della pila, si immerge in un truogolo di pietra contenente l'aqua acidulata.

530. Inconvenienti delle pile ordinarie. — Le pile che ora si son descritte presentano in pratica alcuni inconvenienti assai gravi. L'aqua, venendo decomposta dallo zinco, si svolge dell'idrogeno, il quale, sprigionandosi nell'aria carico di particelle acide, rende in poco tempo irrespirabile l'aria. Di più, questo idrogeno forma sulle lamine di rame uno strato, che presenta alla corrente una grande

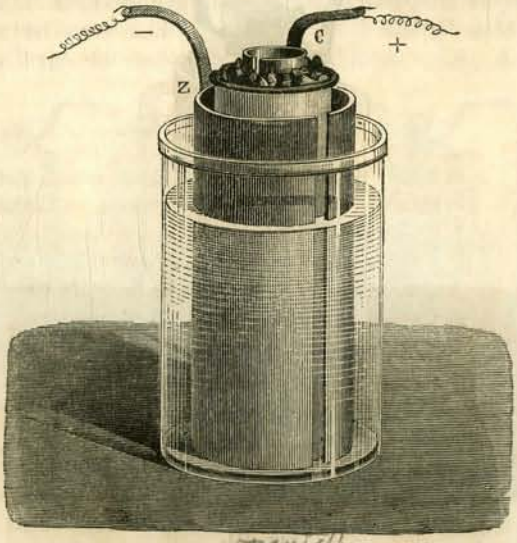


Fig. 450.

resistenza e ne diminuisce notevolmente l'intensità. Finalmente, questo strato possiede uno spessore variabile, e da qui risulta una continua variazione nell'intensità della corrente. Questi inconvenienti scompajono, almeno in parte, colle pile a due liquidi.

531. Pila Daniell. — L'elemento di Daniell è formato da un vaso esterno contenente dell'aqua acidulata (fig. 450), nella quale è immerso un largo cilindro cavo di zinco *Z*. Nella cavità di questo cilindro si trova un vaso in terra porosa, contenente una dissoluzione di solfato di rame, nella quale è immerso un cilindro di rame *C*. Al filo conduttore fissato allo zinco corrisponde, come lo mostra la figura, il polo negativo dell'elemento. Se si congiungono successivamente il rame, di un elemento collo zinco dell'elemento seguente, si formerà la pila.

È facile di scorgere come, con questa disposizione, lo strato d'idrogeno, che nelle pile ordinarie ha una azione tanto dannosa, è tolto. Infatti, il solfato di rame vien decomposto dall'idrogeno che entra nel vaso poroso, ed il metallo, seguendo, come si spiegherà più tardi, lo stesso cammino dell'elettricità positiva, si porta sulla lamina di rame; lo svolgimento di idrogeno è, per così dire, sostituito da uno svolgimento di rame, che nulla cambia alla condizione fisica del sistema.

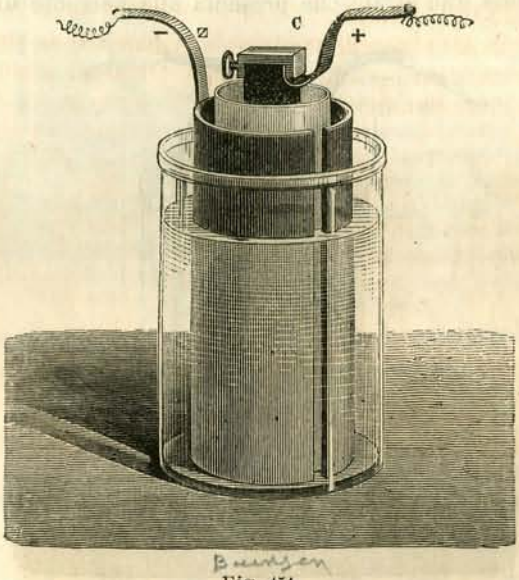


Fig. 451.

La pila di Daniell lavora con una rimarchevole regolarità, e può funzionare per un tempo lunghissimo senza che l'aria ambiente provi alterazione sensibile. Tra le cause che possono far variare l'intensità nella corrente in questa pila, si annovera il cambiamento di natura dei liquidi. Infatti, l'aqua acidulata si va man mano caricando di solfato di zinco; lo stato di saturazione poi della dissoluzione di solfato di rame, va gradualmente diminuendo. L'esperienza ha dimostrato che la prima di queste cause non agisce che in modo insignificante sull'intensità della corrente. Diversamente bisogna dire della seconda causa e, per toglierne gli effetti, si ha la precauzione di porre, come lo mostra la figura, dei cristalli di solfato di rame in una spece di bacino traforato formato dal vaso di rame, così che i cristalli si trovino sempre in contatto colla dissoluzione. Man mano che questa tende ad inde-

bolirsi, riprende ai cristalli la porzione di sale uguale a quella che venne decomposta dall'azione della corrente, e conserva il medesimo titolo di saturazione.

532. Pila di Bunsen. — La pila di cui si fa quasi esclusivamente uso nei gabinetti di fisica, porta il nome di *pila Bunsen;* essa data dall'anno 1843. Di andamento meno regolare della pila Daniell, meno esente del grave difetto di alterare l'aria ambiente, questa pila è specialmente notevole per l'intensità della corrente prodotta, ed è appunto sotto questo punto di vista che la sua apparizione eccitò il più vivo interesse.

Dalla figura 451 si scorge facilmente la disposizione dell'elemento Bunsen. In un vaso esterno contenente dell'aqua acidulata, è immersa una larga lamina tubolare di zinco, come nell'elemento

Fig. 452.

Daniell, però, invece, nel vaso poroso si pone dell'acido azotico a 40° e vi si immerge un prisma di carbone conduttore; si può far uso del *carbone di storta* che si deposita alla parte superiore degli apparecchi produttori del gas illuminante. Per formare una pila (fig. 452), si riuniscono successivamente, per mezzo di morsetti, il carbone di un elemento collo zinco del successivo; il polo positivo corrisponde all'ultimo carbone, il negativo all'ultimo zinco.

Nella pila di Bunsen, l'idrogeno proveniente dalla decomposizione dell'aqua decompone a sua volta l'acido azotico che bagna il carbone; ne risulta dell'acido ipoazotico, il quale si discioglie gradatamente e non si presenta sotto forma di bolle gasose. Si raggiunge così lo stesso risultato ottenuto colla pila Daniell; ciò non ostante, l'acido ipoazotico sciolto nell'aqua, si sviluppa poi ulteriormente nell'atmosfera, la quale si trova così viziata dopo un certo tempo.

È giustizia il far notare che la pila Bunsen non è che una modificazione di quella di Grove, costrutta diversi anni prima. In

questa pila, in luogo del carbone, si trova una lamina di platino. Il prezzo elevato di questo metallo rendendola quasi inapplicabile, qualche costruttore aveva tentato di sostituirvi il carbone e già esistevano nel commercio alcuni di questi elementi, quando uscì la pubblicazione del signor Bunsen.

533. Proprietà dello zinco amalgamato. — In una pila in azione, il lavoro esterno corrisponde all'ossidazione o combustione dello zinco all'interno; precisamente come in una macchina termica, il lavoro proviene dalla combustione del carbone. Nelle pile montate con aqua acidulata, se si impiega lo zinco ordinario, questo è attaccato tanto se la pila è o non è in attività; in questo ultimo caso si ha dunque un consumo inutile di zinco. Non si avrebbe questo danno se si facesse uso di zinco chimicamente puro; non ha ugualmente luogo se si usa lo zinco amalgamato, ed è ciò appunto che conviene di far sempre. Per amalgamare un cilindro di zinco, dapprima lo si pulisce con aqua acidulata, poi lo si strofina con mercurio. Lo si può anche immergere in una dissoluzione di un sale di mercurio; il mercurio vien precipitato dallo zinco e basta quindi di strofinare il cilindro, perchè esso riesca completamente amalgamato.

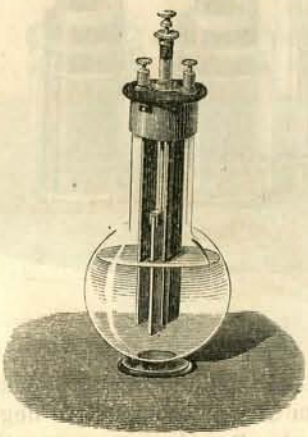


Fig. 453.

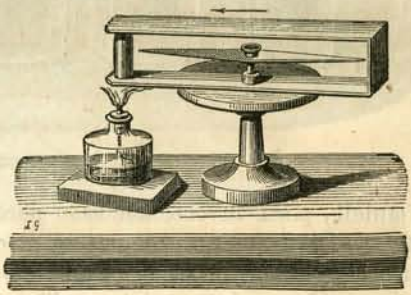


Fig. 454.

534. Pila a bicromato di potassa. — Vennero ideati moltissimi tipi di pile, la di cui descrizione riescirebbe priva di interesse; solamente si fa mensione della pila a bicromato di potassa, della quale si fa spesso uso nei corsi di lezioni per animare i diversi apparecchi elettrici. L'elemento è formato (fig. 453) da una boccia contenente una dissoluzione ad $\frac{1}{20}$ di bicromato di potassa, addizionata d'acido solforico in quantità uguale a quella del bicromato. Nel liquido sono immerse due lamine di carbone, tra le quali si trova

una lamina di zinco; al carbone corrisponde il polo positivo. Quando si vuol sospendere l'azione della pila si solleva la lamina di zinco, così da togliere il contatto col liquido.

535. Correnti termoelettriche. — Il lavoro prodotto nell'azione chimica non è il solo mezzo per ottenere una corrente; si può diffatti ottenerla anche per mezzo del calore, come venne mostrato per la prima volta dal dottore Seebeck di Berlino nel 1821. Per ripetere l'esperienza si fa uso di una lamina di rame ripiegata a rami paralleli, i di cui estremi si saldano ad un cilindro di bismuto (fig. 454); si ottiene così una spece di rettangolo, tre lati del quale son formati dal rame ed il quarto dal bismuto. Si dispone l'apparecchio in modo che i due lati orizzontali del rettangolo sieno diretti pressochè nel meridiano magnetico; nel rettangolo è disposto un ago magnetico. Se allora si scalda con una lampada ad alcool una delle saldature del circuito, l'ago magnetico ne sarà deviato, fatto che accusa la produzione di una corrente elettrica, diretta nel rame, come lo mostra la figura, dalla saldatura calda alla fredda. Se invece di scaldare la saldatura, la si avesse raffreddata con del ghiaccio, si sarebbe pure ottenuta una corrente ma di senso opposto alla prima.

Sebbene questa esperienza sia specialmente sensibile col bismuto e l'antimonio, essa riesce però anche con metalli qualsiansi. Non è neppur necessario di scaldare un punto del circuito nel quale vi sia contatto di due metalli differenti, bastando che, da una banda e dall'altra del punto nel quale si produce l'elevamento di temperatura, non esista una perfetta eguaglianza di struttura, perchè si manifesti una corrente. Questo fatto, assai importante, lo si dimostra con diverse esperienze. Si prende, per esempio, un filo di platino, sul quale si sia fatto un nodo, e lo si scalda in vicinanza a questo punto, si produce una corrente che si rende sensibile, ponendo le estremità del filo in relazione con un galvanometro, apparecchio di cui verrà data la descrizione nel capitolo seguente. La corrente cambia poi di senso a seconda che si scaldi da una banda o dall'altra del nodo. Lo stesso fenomeno ha luogo se si avvolge ad elica una parte del filo (fig. 455). Nei metalli che, come il bismuto, presentano poca omogeneità, non è raro che si osservino delle correnti termoelettriche quando si scaldino dei circuiti, che all'esterno non presentano alcuna particolarità caratteristica.

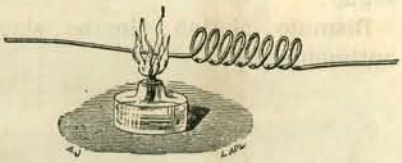


Fig. 455.

Si osservi che il fenomeno si deve ad una differenza, per quanto leggera sia, di struttura e non già ad un'altra circostanza, come sarebbe, per esempio, il cambiamento di dimensioni. Quando la costituzione molecolare è la stessa dalle due bande del punto scaldato, non si ottiene corrente alcuna.

536. Senso della corrente termoelettrica. — Da quanto precede risulta che l'azione del calore ha per effetto di provocare nei corpi, e specialmente nei metalli, il movimento elettrico che caratterizza la corrente. Se in un conduttore omogeneo non si osserva il fenomeno, ciò devesi al fatto che le due correnti prodotte dalle due bande del punto scaldato sono uguali e di senso contrario; una differenza di struttura modifica l'intensità di una delle correnti, ed il galvanometro accusa l'effetto risultante dei due effetti prodottisi.

Se si tratta della saldatura di due metalli differenti, il senso della corrente dipende dalla natura dei metalli associati ed è impossibile di formulare in proposito alcuna legge precisa. Nella nota seguente, che deriva da esperienze eseguite dal signor Becquerel, i metalli son disposti in ordine tale che la corrente attraversa la saldatura calda, andando da quello che lo precede a quello che lo segue:

Bismuto, platino, piombo, stagno, rame, argento, zinco, ferro, antimonio.

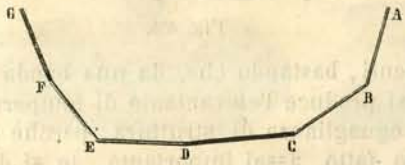


Fig. 456.

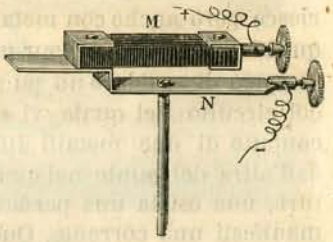


Fig. 457.

537. Potere termoelettrico. — L'intensità delle correnti termoelettriche dipende dalla natura dei metalli in contattto nella saldatura; per ciascuna associazione v'ha una spece di forza elettromotrice propria, alla quale si dà il nome di *potere termoelettrico*. Per comparare questo potere termoelettrico il signor Becquerel fece uso di una catena (fig. 456) formata da diversi metalli, saldati successivamente gli uni all'estremità degli altri. Posti i capi della catena in relazione con un galvanometro, si scalda una delle saldature ad una temperatura data, per esempio a 40°, e si mantengono tutte le altre a 0°. La corrente prodotta, dovendo in ogni caso attraversare un circuito di uguale resistenza, la sua intensità potrà ritenersi come la misura proporzionale del potere termoelettrico della saldatura sulla quale si opera; almeno per la temperatura alla quale si opera. Gli è in questo modo che il signor Becquerel ha ottenuto la tavola seguente:

Ferro - platino	36, 07	Rame - platino	8, 35
Ferro - stagno	31, 24	Rame - stagno	3, 50
Ferro - rame	27, 96	Rame - argento	2, 00
Ferro - argento	26, 20	Zinco - rame	1, 00

538. Pile termoelettriche. — Associando un certo numero di coppie termoelettriche e scaldando simultaneamente tutte le saldature di ugual rango, si ottiene una pila termoelettrica.

Sotto il punto di vista della produzione dell'elettricità, le pile termoelettriche non hanno finora dati risultati assai utili. Infatto, in causa della conduttività dei mezzi nei quali prendono origine, le correnti termoelettriche s'indeboliscono assai rapidamente passando in un circuito di resistenza appena apprezzabile. Così, per produrre una decomposizione sensibile dell'aqua, occorrono almeno 120 coppie ferroplatino. Il signor Edmondo Becquerel ha immaginato una coppia termoelettrica di una potenza eccezionale: essa è formata associando il maillechort *N* col solfuro di rame artificiale *M* (fig. 457): il polo positivo corrisponde al solfuro. La

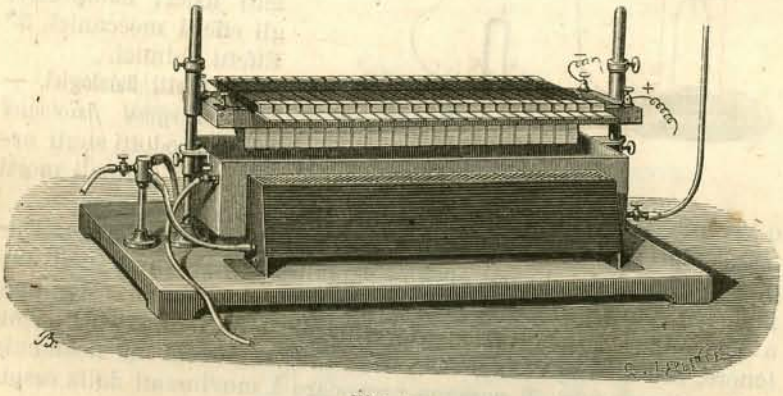


Fig. 458.

figura 458 rappresenta una pila di questo nuovo sistema. Si eleva la temperatura delle saldature per mezzo del gas illuminante; si può, in questa maniera, con 30 o 40 elementi, decomporre sensibilmente l'aqua, far agire un'elettromagnete a lungo filo, far funzionare un telegrafo. La comodità dell'impiego del gas illuminante, l'economia di produzione, lasciano prevedere un'utilizzazione seria delle correnti termaelettriche.

539. Applicazione delle correnti termoelettriche alla misura delle temperature. — La pinzetta termoelettrica del signor Peltier, rappresentata dalla figura 459, è assai propria all'esplorazione delle temperature di uno spazio ristretto. La pinzetta consta di due coppie termoelettriche di bismuto ed antimonio, *a b* ed *a' b'*. Il bismuto di una coppia e l'antimonio dell'altra sono riuniti da un filo, il circuito è completato da un galvanometro; da tale disposizione consegue che, se lo spazio compreso fra le due saldature, viene a riscaldarsi, si produrrà nelle due coppie una corrente che va dal bismuto all'antimonio. Queste due correnti agiscono dunque nello stesso senso sull'ago magnetico del galvanometro, e siccome la massa e la capacità calorifica dell'istrumento sono assai deboli, la sua sensibilità riescirà assai grande.

Gli è ad una specie di sonde termoelettriche assai sottili, che possono in certi casi penetrare negli organi senza lesioni, che si è ricorso per studiare la temperatura degli esseri organizzati, e le variazioni che essa può provare in date circostanze particolari. Si può citare anche l'apparecchio di cui fa uso il signor Becquerel per misurare la temperatura dell'aria, e che è formato da due pinzette, l'una posta nell'atmosfera e l'altra nel laboratorio. Un galvanometro posto nel circuito segna 0° quando le due pinzette si trovano alla stessa temperatura; per conoscere dunque la temperatura dell'aria, basta, quando l'ago è deviato, di riscaldare o di raffreddare la seconda pinzetta, così da ridurre a 0° l'ago del galvanometro.

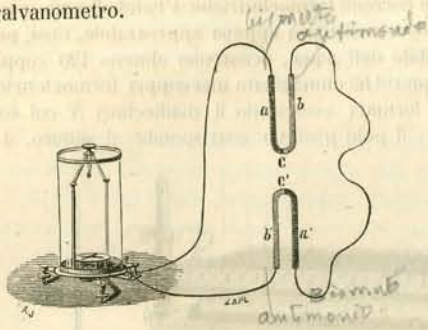


Fig. 459.

540. Effetti della pila. — Gli effetti prodotti dalle correnti possono dividersi in tre classi: 1.° Effetti fisiologici. 2.° Effetti fisici, compresivi gli effetti meccanici. 3.° Effetti chimici.

541 Effetti fisiologici. — Diconsi *effetti fisiologici* quelli prodotti sugli organi degli animali morti o viventi.

Quando l'organo appartiene ad un cadavere, si possono, coll'agire sui nervi dei diversi sistemi di muscoli, produrre nell'animale movimenti di distensione, di flessione dei membri; si giunge a determinare la contrazione dei muscoli della faccia, così da ottenere, con una spaventevole verità, tutti i giuochi di fisonomia dell'essere vivente. Si possono provocare i movimenti della respirazione, la dilatazione del cuore.

Alcuni medici fanno uso dell'elettricità pel trattamento di certe affezioni nervose o delle paralisi locali.

I fenomeni fisiologici non si producono nell'organo posto sul cammino dalla corrente, che al momento in cui si chiude il circuito; scompajono una volta stabilita la corrente, e si riproducono al riaprirsi del circuito; perchè l'effetto di una corrente fosse direttamente apprezzabile, bisognerebbe che la sua intensità fosse assai notevole.

Da questa osservazione risulta che bisogna interporre nella corrente un'*apparecchio interruttore*, il quale apra e chiuda alternativamente il circuito. In generale gli apparecchi usati in medicina riposano sopra principi di cui non è qui il luogo di parlare; però, volendo, si potrebbe far uso del seguente apparecchio.

Una ruota metallica dentata comunica, per mezzo del suo asse metallico e del supporto di questo asse, con un serrafili al quale

si fissa uno dei reofori della pila. Gli intervalli fra i denti della ruota sono riempiti d'avorio. Una lamina elastica preme contro il contorno della ruota ed è in comunicazione con un'altro serrafili metallico, al quale è attaccato l'altro reoforo della pila. Questo reoforo è tagliato in un punto del suo percorso, ed i due capi che ne risultano sono muniti di impugnature metalliche, che il malato prende colle mani.

Imprimendo alla ruota un movimento di rotazione, si capisce che la corrente passerà quando la lamina elastica sarà in contatto con un dente della ruota; il circuito invece sarà aperto quando la lamina appoggia sull'avorio. Si potrà dunque così aprire e chiudere il circuito a volontà, e ravvicinare le interruzioni a piacimento, coll'accrescere la velocità di rotazione della ruota.

CAPITOLO XI.

EFFETTI MAGNETICI DELLA CORRENTE. — GALVANOMETRO. RESISTENZA. — INTENSITÀ DELLA CORRENTE.

542. Esperienza di Œrstedt. — Nel capitolo precedente si è fisicamente definita la corrente in riguardo alla sua azione sull'ago magnetico, ma infatto non fu che 20 anni circa dopo la scoperta della

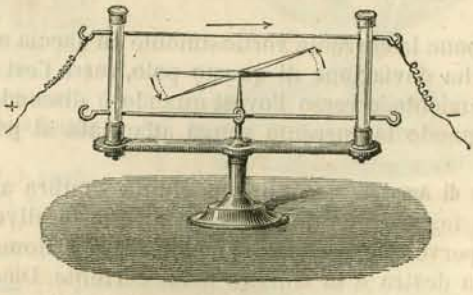


Fig. 460.

pila, nel 1819, che venne osservata da Œrstedt, fisico danese, questa relazione fra la corrente e le magneti. Questa scoperta produsse una viva sensazione nel mondo scientifico, giacchè essa venne a stabilire un legame tra il magnetismo e l'elettricità, legame che doveva poi in seguito servire di punto di partenza ad importantissime scoperte.

È facile di ripetere l'esperienza di Œrstedt nel modo rappre-

Definizione della destra e della sinistra della corrente

sentato dalla figura 460. Due fili conduttori son posti nel meridiano magnetico, uno al disopra, l'altro sotto di un ago magnetico. Facendo passare la corrente in uno dei fili, si vede immediatamente deviare l'ago magnetico, così da stabilirsi quasi ad angolo retto colla corrente, e tanto più vicino a questa posizione quanto più intensa è la corrente. Il senso della deviazione varia poi a seconda del senso della corrente, ed anche a seconda della posizione relativa del conduttore e dell'ago.

Così, nel caso della figura, se la corrente passa nel filo superiore da sud a nord, il polo australe, segnato in nero, vien deviato verso l'ovest; se la corrente passasse nel filo inferiore nelle stesse condizioni, la deviazione avrebbe invece luogo verso l'est. Cambiando il senso della corrente si ottiene, nel caso della corrente superiore una deviazione verso l'est, ed una deviazione inversa quando la corrente è al disotto dell'ago.

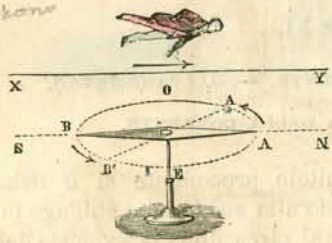


Fig. 461.

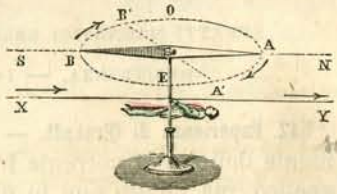


Fig. 462.

Se si dispone la corrente verticalmente in faccia al polo australe dell'ago, si ha deviazione di questo polo, verso l'est quando la corrente è ascendente, e verso l'ovest quando è discendente. L'opposto ha luogo quando la corrente venga affacciata al polo boreale dell'ago.

543. Legge di Ampère. — A prima giunta sembra assai difficile di afferrare la legge generale ed esatta di queste diverse deviazioni. Ampère è pervenuto a rendere facile l'esposizione di tale legge, definendo la destra e la sinistra della corrente. Dicesi destra e sinistra della corrente la destra e la sinistra di un osservatore il quale fosse disteso nella corrente, in guisa che questa lo attraversi dai piedi alla testa, e guardi l'ago magnetico. Dietro questa definizione, la legge di Ampère dice che, in qualunque caso, *il polo australe dell'ago magnetico si dispone sempre alla sinistra della corrente.*

Le due figure 461 e 462, corrispondenti ai primi due casi indicati nel paragrafo precedente, mostrano la verità di questa legge. Infatti si vede che la deviazione del polo australe *A* deve accedere

verso l'ovest nel caso della prima figura, e verso l'est nel caso della seconda.

Nell'esperienza di Œrstedt la deviazione dell'ago è tanto più sentita, quanto più l'intensità della corrente è grande: si hanno infatti, l'azione della corrente che tende a porre l'ago ad angolo retto colla propria direzione, ed il magnetismo terrestre, che tende a ricondurlo nel meridiano magnetico; gli è appunto sotto l'azione di queste due forze contrarie che l'ago prende una posizione intermedia tale, da fare col meridiano un angolo tanto più grande, quanto maggiore è l'intensità della corrente. Gli è su questo principio che son fondati gli apparecchi destinati alla misura della corrente, apparecchi che portano, in generale, il nome di *reometri*.

544. Bussola dei seni. — Quando la corrente è di una certa intensità, si può impiegare alla sua misura l'apparecchio immaginato dal signor Pouillet e conosciuto col nome di *bussola dei seni* (fig. 463). È questa formata da un anello verticale sul quale è avvolto, facendo uno o più giri, il filo percorso dalla corrente che si vuol misurare. Questo anello è mobile intorno ad un'asse verticale, così da poterlo disporre in un azimut qualunque; un alidada mobile su di un cerchio orizzontale graduato, permette di misurare la rotazione prodotta. Al centro dell'anello è posto un ago di declinazione, mobile su di un quadrante graduato.

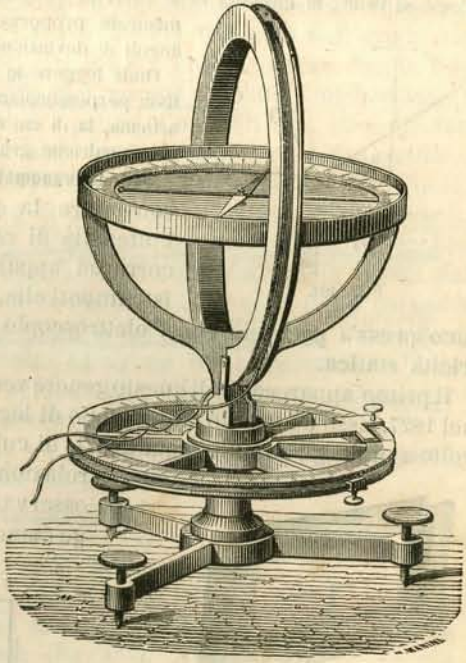


Fig. 463.

Si supponga che l'ago e l'anello essendo posti nel meridiano magnetico, si faccia passare la corrente; l'ago verrà deviato; la sua estremità si allontana dallo zero, il suo asse sorte dal piano verticale dell'anello; si fa allora muovere quest'ultimo tanto da ricondurlo nel piano dell'ago ed in modo che questo segni ancora zero; si produce così una rotazione misurata sul cerchio orizzontale, e che dà evidentemente l'angolo α che separa attualmente la posizione dell'ago dal meridiano magnetico. In questa posizione l'ago tende a ritornare alla sua posizione di equilibrio con una forza proporzionale al seno dell'angolo α (445). Ora, per la simmetria nella posizione della corrente e dell'ago, è chiaro che l'azione della corrente è perpendicolare al proprio piano e quindi direttamente opposta alla

componente efficace dell'azione magnetica della terra. Le intensità delle correnti che passano successivamente nell' apparecchio sono dunque proporzionali ai seni degli angoli di deviazione: da qui il nome dato all'apparecchio.

La prima idea di questo ingegnoso apparecchio sembra dovuta a Péclet.

545. Bussola delle tangenti. — La bussola delle tangenti, di costruzione più semplice, è formata da un ago magnetico *assai piccolo*, mobile su di un cerchio graduato, e posto al centro di un anello fisso, sul quale circola la corrente. In causa della gran dimensione che si dà all'anello, si può considerare, che il polo a dell'ago (fig. 464) non abbia cambiato di posizione nello spazio; l' azione della corrente, perpendicolare al piano che corrisponde alla posizione iniziale dell'ago, dà una componente efficace secondo $a'\ t'$, proporzionale al coseno dell' angolo di deviazione e che può essere rappresentata da $F \cos \alpha$; è questa forza che fa equilibrio alla componente dell' azione direttrice del globo, la quale, diretta secondo $a'\ t$, è uguale a $T \operatorname{sen} \alpha$; si ha dunque:

$$F \cos \alpha = T \operatorname{sen} \alpha \text{ da cui: } F = T \operatorname{tang} \alpha$$

Come si vede, le intensità delle correnti vengono, con questo apparecchio, misurate proporzionalmente alle tangenti degli angoli di deviazione letti direttamente.

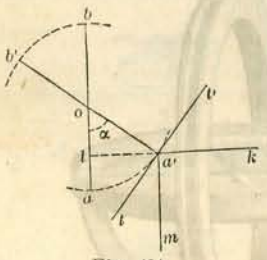


Fig. 464.

Onde leggere le deviazioni del piccolo ago, si fissa perpendicolarmente al suo asse una lunga asticina, la di cui estremità percorre le divisioni del quadrante graduato.

546. Galvanometro. — Quando si tratti di constatare la presenza e di misurare l'intensità di correnti assai deboli, si ricorre ad apparecchi detti *galvanometri*, istrumenti che, nell' elettricità dinamica, sono press'a poco ciò che l' elettroscopio condensatore è nell' elettricità statica.

Il primo apparecchio di questo genere venne costrutto da Schweiger nel 1827. Esso è formato da un telajo di legno (fig. 465) sul quale è avvolto a molti giri un filo metallico, le di cui estremità vengon poste in relazione colla corrente che si vuol osservare. Dalla figura 466 si scorge come, la corrente camminando

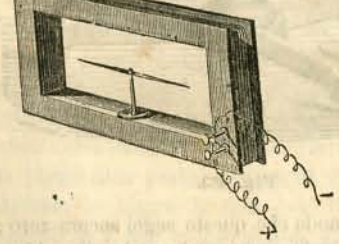


Fig. 465.

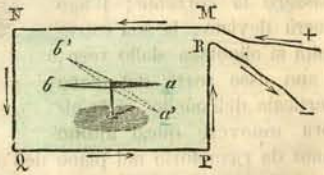


Fig. 466.

nel senso $M\ N\ Q\ P$, tutte le parti del telajo, secondo la legge Ampère, agiscano a far deviare nel medesimo senso il polo australe a dell' ago magnetico, vale a dire a portarlo alla parte anteriore

della figura. Se, d'altra parte, il filo fa un certo numero di giri sul telajo, e le diverse spire sono accuratamente isolate per mezzo di seta o di qualunque altra sostanza non conduttrice, ciascun giro agirà individualmente e separatamente sull'ago magnetico, il quale si troverà, per tal modo, sottoposto ad un'azione notevolmente rinforzata. Gli è appunto in causa di questa circostanza che l'inventore dell'istrumento gli aveva dato il nome di *moltiplicatore*.

Si osservi però, che questa espressione non è rigorosamente esatta. Infatti, l'intensità della corrente dipende, come verrà detto in seguito, e dalla natura della sorgente e dalla resistenza del circuito che essa deve attraversare. Allorquando, per constatare la presenza di una corrente in condizioni determinate, si aggiunge al mezzo nel quale essa si produce, il filo del galvanometro, questa aggiunta ha per primo risultato di diminuire l'intensità della corrente stessa. D'altra parte, è vero, l'azione di questa sull'ago riesce moltiplicata pel numero dei giri, ma potrebbe accadere che, in una data circostanza, il vantaggio del secondo effetto non bastasse a compensare l'inconveniente del primo. Così, con una corrente termoelettrica potrebbe darsi che un galvanometro a filo *sottile* e *lungo* non avesse a dare deviazione sensibile. Perciò, per questo genere di correnti, si fa uso di galvanometri a filo *grosso* e *corto*. In fatto, dunque, ciò che riesce moltiplicato nell'apparecchio Schweiger non è già l'intensità della corrente, quale esiste nel mezzo ove si produce inizialmente, bensì l'intensità della corrente modificata dall'aggiunta del circuito del galvanometro. Vale a dire, che se il filo non fosse avvolto ed agisse semplicemente sull'ago, si produrrebbe un'azione che si trova poi moltiplicata pel numero dei giri, quando il filo è avvolto.

547. Galvanometro a due aghi. — Si può accrescere notevolmente la già molto grande sensibilità del galvanometro, con un'ingegnosa disposizione dovuta a Nobili. Consiste questa nel far uso, invece che di un solo ago, di un sistema di due aghi fissati ad un medesimo pezzo metallico, ed i di cui poli contrari si trovano di fronte (fig. 467). Un tal sistema prende il nome di *astatico*, ed è evidente che, se i due aghi sono magnetizzati con ugual forza, il sistema sarà affatto indifferente all'azione del globo; giacchè, mentre il polo australe di un'ago tende a rivolgersi verso il Nord, il polo affacciato dell'altr'ago tende a volgersi in senso opposto.

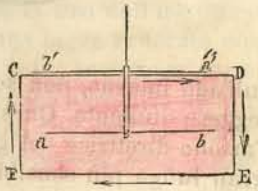


Fig. 467.

Sistema astatico

Uno degli aghi *a b* si trova all'interno del telajo del galvano-

metro, l'altro $a'b'$ è posto al disopra, ad una piccola distanza dal filo. Si supponga che una corrente attraversi il filo nel senso delle freccie; l'azione di tutte le parti della corrente sull'ago interno è di spingerne il polo australe a alla sinistra, vale a dire all'indietro della figura. L'azione di CD sull'ago superiore è dello stesso senso, giacchè essa spinge il polo australe a' sul davanti della figura, e quindi il polo boreale b' all'indietro. È però vero che le altre parti del circuito producono sull'ago superiore un'azione inversa; ma, in causa della prossimità del tratto CD, l'effetto di questo riesce predominante. Ne segue che, mentre l'azione della terra riesce annullata coll'aggiunta dell'ago superiore, l'effetto della corrente

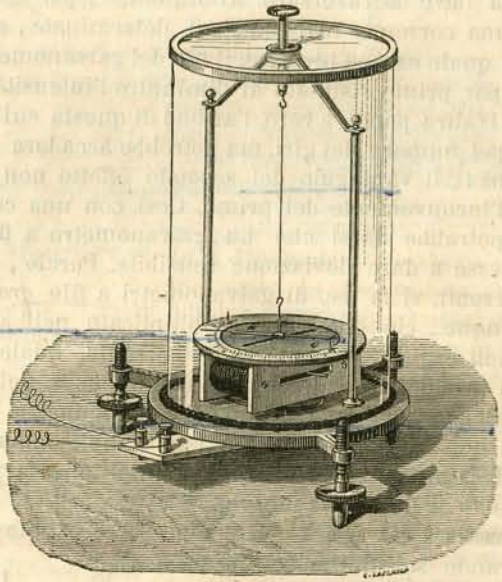


Fig. 468.

sull'ago interno, non solo non ne è diminuita, ma anzi risente un leggero aumento. Questo effetto non essendo più contrariato dall'azione direttrice del globo, ne segue che l'istrumento riesce di gran lunga più sensibile che non con un solo ago.

Se i due aghi formassero un sistema esattamente astatico, la forza direttrice essendo nulla, gli aghi si disporrebbero sempre ad angolo retto colla corrente. Questo sarebbe veramente un inconveniente, giacchè non vi sarebbe differenza tra gli effetti delle diverse correnti, qualunque fosse la loro intensità relativa. In fatto all'ago superiore si dà un grado di magnetismo un po' più forte che all'altro; si ha dunque una leggera forza direttrice, la quale permette di distinguere le correnti di differente intensità.

La figura 468 rappresenta un galvanometro a due aghi, quale lo si costruisce ordinariamente. Il filo conduttore è avvolto su di un telajo in avorio, portante il quadrante graduato, sul quale si muove l'ago superiore. Le estremità del filo sono in comunicazione elettrica con due serrafili metallici, che servono a stabilire la comunicazione col filo nel quale passa la corrente da studiarsi. Gli aghi magnetici son formati generalmente con due aghi da cucire, dei quali, il superiore porta sul prolungamento due pezzi assai leggeri che ne aumentano la lunghezza, e permettono di leggere più esattamente le deviazioni. Il sistema è sospeso con un filo naturale di bozzolo, assai sottile e fissato, superiormente, ad un uncino mobile. Quando l'istrumento non è in attività, si abbassano gli aghi in modo che il superiore appoggi direttamente sul quadrante; in questo modo non si affatica inutilmente il filo. Quando si vuol servirsi dell'apparecchio, si comincia dal sollevare gli aghi e, col mezzo delle viti di livello, si fa in modo che il pezzo che le porta coincida col mezzo dell'apertura praticata nel centro del quadrante per dar loro passaggio. In questa guisa il movimento degli aghi può aver luogo senza esser impedito dai lembi dell'apertura o della parte interna del telajo, ed il sistema si pone nella direzione del meridiano magnetico. L'indice superiore corrisponde allora, in generale, ad una divisione qualunque del quadrante. Per mezzo di un bottone, che non è visibile nella figura, si imprime al telajo un movimento di rotazione, che permette di ridurre lo zero sotto all'estremità dell'ago.

548. Graduazione del galvanometro. — Le deviazioni dell'indice del galvanometro non sono generalmente proporzionali alle intensità delle correnti che le producono; bisogna dunque, onde applicare questo istrumento a ricerche di precisione, costruire una tavola che dia, per ogni grado, l'intensità corrispondente della corrente. Si può giungere a questo scopo con diversi metodi. Si osservi però che la tavola non ha valore che quando si fa uso dell'istrumento pel quale è stata costruita; qui non si ha una legge generale, come nel caso della bussola dei seni o delle tangenti; la determinazione delle intensità ha un carattere affatto empirico e proprio all'istrumento sul quale si opera. Si può ammettere che, fino al limite di 20°, le deviazioni sono proporzionali alle intensità delle correnti rispettive.

549. Legge di Ohm. — L'intensità della corrente che passa in un filo conduttore dipende, e dalla natura delle forze chimiche o calorifiche che si trasformano in elettricità, e dalla natura del circuito.

Questo circuito non si compone solamente dei conduttori esterni all'apparecchio reometrico, ma comprende quest'apparecchio stesso con tutti gli elementi complessi che possono entrare nella sua composizione. Se, per esempio, si tratta di una pila idroelettrica, bisogna prendere in considerazione i liquidi ed i metalli

che la costituiscono come aventi due uffici: quello di ellettromotori fornenti la corrente, e quello di conduttori che modificano, colla loro resistenza, l'intensità della corrente stessa.

Si può rappresentare l'intensità di una corrente che percorre un dato circuito colla formola:

$$F = \frac{E}{R},$$

nella quale, E è ciò che dicesi forza elettromotrice, ed R la resistenza totale del circuito. È questa formola quella che costituisce la legge di Ohm.

La resistenza varia da un punto ad un altro del circuito, quando questo non è omogeneo; l'intensità però della corrente vi è uguale in ogni parte. Per assicurarsene basta far oscillare un' ago magnetico a piccola distanza dei diversi punti del conduttore; si trova che il numero di oscillazioni effettuate in uguali tempi, è sempre lo stesso; ciò indica che la forza che produce le oscillazioni è costante. Ma questa forza è la risultante dell'azione della terra e di quella della corrente; la prima essendo costante, deve pur essere di conseguenza costante anche la seconda.

550. Elementi che influiscono sulla resistenza. — La resistenza di un filo conduttore aumenta colla lunghezza di questo; a parità di lunghezza diminuisce col crescere della sezione. Onde valutare queste variazioni si può far uso dell'apparecchio seguente.

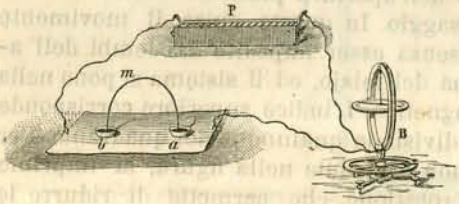


Fig. 469.

La corrente prodotta da una pila P (fig. 469) vien introdotta in un circuito contenente una bussola reometrica B. Si riuniscono tutte e due le estremità dei due reofori ad uno dei pezzi metallici a, b, e si misura l'intensità della corrente prodotta. Si pone poi in comunicazione uno dei reofori con b e l'altro con a, e si completa il circuito col filo conduttore m; la corrente diminuisce di intensità e l'ago della bussola devia di un certo numero di gradi. Se si sostituisce al filo m un'altro filo di ugual natura e sezione, ma di maggior lunghezza, la diminuzione di intensità riesce maggiore; è minore invece con un filo di ugual lunghezza e natura, ma di maggior sezione. Ne consegue che, se si prendono due fili di ugual natura, ma dei quali uno abbia, ad un tempo, una lunghezza ed una sezione doppia dell'altro, questi due fili si equivalgono esattamente nel circuito, vi producono un'eguale indebolimento di corrente; vale a dire, presentano la stessa resistenza.

Se si stabilisce la comunicazione fra a e b per mezzo di fili metallici di natura differente, le condizioni di equivalenza si trovano cambiate; infatti, la resistenza, dipendendo dalla costituzione molecolare del conduttore attraversato dalla corrente, è qualche cosa di specifico.

551. Leggi dell' intensità di una corrente in un circuito omogeneo. — Da queste esperienze si è condotti a stabilire che la resistenza di un circuito omogeneo è proporzionale alla lunghezza di questo, ed inversamente proporzionale alla sua sezione; cosicchè si avrà:

$$R = \frac{l\,r}{s},$$

espressione nella quale, r è la resistenza specifica, l ed s, rispettivamente, la lunghezza e la sezione del circuito. Ne segue che, secondo la legge di Ohm, l'intensità di una corrente dev'essere proporzionale alla sezione ed inversamente proporzionale alla lunghezza del circuito percorso. Questo risultato si può stabilire sperimentalmente in modo affatto rigoroso.

552. Lunghezza ridotta. — Resistenza totale di un circuito eterogeneo. — Sieno l, s, r rispettivamente, la lunghezza, la sezione e la resistenza specifica di un circuito; l', s', r', la lunghezza, la sezione e la resistenza specifica di un circuito equivalente al primo; si avrà, per quanto si è detto:

$$\frac{r\,l}{s} = \frac{r'\,l'}{s'}, \text{ da cui: } l = \frac{s}{r} \cdot \frac{r'\,l'}{s'}.$$

Ad l si dà il nome di lunghezza ridotta del secondo circuito rispetto al primo, e rappresenta, cioè, qual lunghezza del primo circuito equivale in resistenza al secondo circuito.

Se si suppone che la corrente circoli in un circuito formato da diverse parti di lunghezze l, l_1, l_2, l_3...., l'intensità della corrente sarà la stessa come se essa circolasse in un circuito omogeneo formato dalla somma delle lunghezze ridotte, tutte al primo, per esempio, dei diversi circuiti, e la resistenza totale sarà allora:

$$\frac{r}{s}\left(l + \frac{s}{r} \cdot \frac{r'\,l'}{s'} + \frac{s}{r} \cdot \frac{r''\,l''}{s''} + \ldots\right),$$

che si riduce a:

$$\frac{r\,l}{s} + \frac{r'\,l'}{s'} + \frac{r''\,l''}{s''} + \ldots\ldots,$$

vale a dire, che la resistenza totale del circuito eterogeneo è uguale alla somma delle resistenze parziali. È questa la resistenza totale che si è segnata con R nella formola di Ohm; così pure E rappresenta la somma delle forze elettromotrici che si esercitano nei diversi punti del circuito e producono la corrente.

553. Misura delle resistenze specifiche. — L'apparecchio sopradescritto può servire a misurare le resistenze specifiche delle diverse sostanze conduttrici; infatti, basta cercare, per ciascuna di esse, la lunghezza equivalente in filo di rame di un dato spessore, che si conviene di prendere come termine di confronto. Dalla formola $\frac{r\,l}{s} = \frac{r'\,l'}{s'}$ che esprime l'uguaglianza di resistenza delle parti comparate, si deduce il rapporto $\frac{r'}{r}$.

Si può anche far uso di un ingegnoso apparecchio dovuto al signor Wheatstone, che può del resto servire ad altre ricerche, detto *reostato*. È questo formato (fig. 470) da due cilindri, cogli assi orizzontali, A e B, mobili intorno al loro asse, e disposti parallelamente l'uno all'altro. Il cilindro A è tutto di metallo, l'altro è rivestito con materia isolante, sulla superfice della quale è intagliata una scanala-

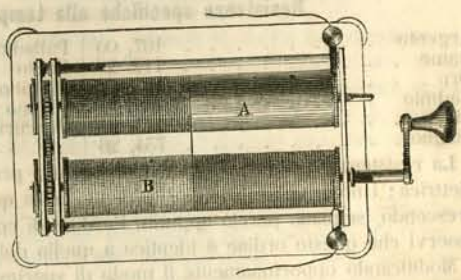


Fig. 470.

tura elicoidale a passo assai piccolo. Un sottilissimo filo di rame dorato, fissato per uno dei capi ad un'estremità di questo cilindro, è in parte avvolto nella scanalatura e da esso passa all'altro cilindro. L'avvolgimento continua in senso opposto, ed il filo termina all'estremità opposta del cilindro metallico. Due serrafili metallici son posti in comunicazione, uno col cilindro metallico, l'altro coll'estremità del filo, fissata sul cilindro isolante.

Se si introduce l'apparecchio nel circuito di una corrente, questa sarà obbligata di seguire le diverse circonvuluzioni del filo avvolto nella scanalatura, e proverà quindi la resistenza dipendente dalla lunghezza di questo filo; la resistenza proveniente dal cilindro metallico può, in causa della grande sezione di questo, esser trascurata affatto, di fronte alla resistenza offerta dal circuito. Per mezzo di una manovella, che si pone a volontà sull'asse dell'uno o dell'altro cilindro, si può avvolgere il filo alla superfice di uno qualunque dei due cilindri, mentre si svolge dall'altro. Si può così introdurre nel circuito, o togliere, una lunghezza variabile di filo. Un registratore, posto in testa all'apparecchio, fornisce il numero dei giri formati da questa lunghezza di filo; le frazioni di giro si misurano approssimativamente, sebbene sarebbe facile l'aggiunta di un organo che permettesse di misurarli esattamente.

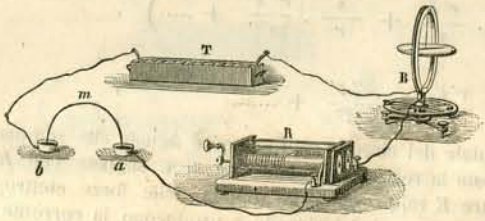


Fig. 471.

Dalla descrizione fatta, è facile di capire l'uso dell'istrumento alla misura delle resistenze specifiche. Si introduce l'apparecchio *R* ed una bussola *B* (fig. 471) in un circuito, una parte del quale sia costituita da un conduttore variabile *m*. I due pezzi *a* e *b* vengono dapprima posti direttamente in contatto e, fatta passare la corrente, si legge la deviazione; introdotto il conduttore *m*, questo produce una diminuzione d'intensità della corrente, resa manifesta dallo spostamento dell'ago della bussola. Si ripristinano allora le comunicazioni come inizialmente e si introduce nel circuito la lunghezza di filo del reostato necessaria per produrre lo stesso risultato. Con esperienze di questo genere si è potuto formare la lista delle resistenze specifiche dei diversi metalli. La tavola seguente è dovuta ai lavori del signor Ed. Becquerel:

Resistenze specifiche alla temperatura di 15°

Argento	107, 00	Palladio	714, 59
Rame	112, 23	Ferro	824, 89
Oro	133, 51	Piombo	1212, 90
Cadmio	406, 94	Platino	1245, 47
Zinco	415, 84	Mercurio	5530, 15
Stagno	754, 26		

La resistenza specifica è evidentemente una proprietà inversa alla conduttività elettrica; i nomi della tavola precedente, nella quale la resistenza va successivamente crescendo, segnano perciò appunto l'ordine di conduttività dei diversi metalli. Si osservi che questo ordine è identico a quello della conduttività pel calore.

Modificando opportunamente il modo di sperimentare, si possono osservare le resistenze a diverse temperature. Si trova così, che, meno poche eccezioni, la resistenza aumenta colla temperatura.

Con un'analogo processo si può giungere alla determinazione della resistenza specifica dei liquidi. Si è trovato che la resistenza dei liquidi è, senza confronto, più grande di quella dei metalli; così, per esempio, la resistenza specifica di una dissoluzione di solfato di rame, è circa 18,000,000 di volte più grande di quella dell'argento (1).

554. Intensità della corrente di una pila. — La formula di Ohm permette di calcolare l'intensità della corrente fornita da una pila, in funzione dell'intensità individuale della corrente di ciascun elemento. Si supponga, per maggior semplicità, che tutti gli elementi presentino la stessa resistenza interna r ed una stessa intensità f, quando vengono poste in comunicazione con un conduttore estrapolare, contenente una bussola e presentante una resistenza totale φ; l'intensità f si ha dalla formola:

$$f = \frac{E}{r + \varphi}.$$

Se gli elementi vengon riuniti in pila (serie), la resistenza del circuito diventa $n\,r + \varphi$, e, le correnti particolari sommandosi, si ha per intensità totale F:

$$F = \frac{n\,E}{n\,r + \varphi}, \quad \text{da cui:} \quad \frac{F}{f} = \frac{n\,r + n\,\varphi}{n\,r + \varphi}$$

Questa formola dà risultati conformi all'esperienza, come venne stabilito dal

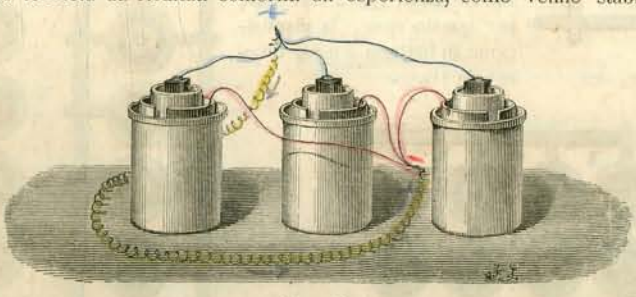


Fig. 472.

signor Pouillet, e mostra che, se il conduttore estrapolare presenta una resistenza considerevole, il numero degli elementi accoppiati ha molta influenza sull'intensità della corrente; se, all'opposto, φ è assai debole e trascurabile rispetto ad $n\,r$, l'accrescimento nel numero degli elementi aggiunge nulla all'intensità, la di cui espressione, in questo caso limite, è indipendente da n.

Questo caso si presenta, per un esempio, quando si debba far circolare la corrente di una pila idroelettrica in un corto filo metallico. In questo caso si ha invece vantaggio a disporre gli elementi in *batteria*. Perciò si riuniscono, come lo mostra la figura 472, tutti i carboni fra loro e pure fra loro tutti gli zinchi, disposizione che costituisce come un elemento unico di grande superfice. Si può

(1) Col mezzo del reostato si può graduare il galvanometro a lungo filo, togliendo successivamente, dal circuito che contiene il galvanometro ed il reostato, delle lunghezze di filo, per mezzo del reostato stesso. Fissata una corrente iniziale come unità, e conosciuta la resistenza del galvanometro, si potranno stabilire i gradi di intensità corrispondenti alle diverse posizioni dell'indice.

anche in questo caso calcolare l'intensità della corrente che ne risulta. Richiamata la formola precedente:

$$F = \frac{E}{r + \varphi},$$

si osservi che gli elementi, essendo riuniti in batteria, formano un elemento di sezione n volte maggiore e, per conseguenza, presentante una resistenza n volte più piccola di quella che corrisponde ad un elemento isolato; si ha dunque:

$$F = \frac{E}{\frac{r}{n} + \varphi} = \frac{n\,E}{r + n\,\varphi},$$

e quindi:

$$\frac{F}{f} = \frac{n\,r + n\,\varphi}{r + n\,\varphi},$$

dalla quale si deduce appunto che, se φ è assai piccolo, F riesce sensibilmente proporzionale ad n, vale a dire che, per questo caso, la disposizione in batteria è assai favorevole (1).

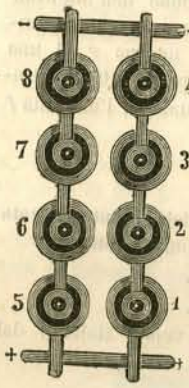


Fig 473.

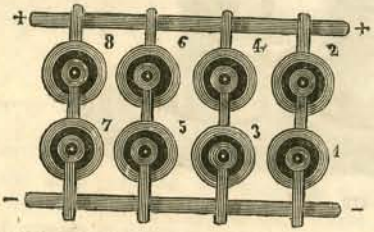


Fig. 474.

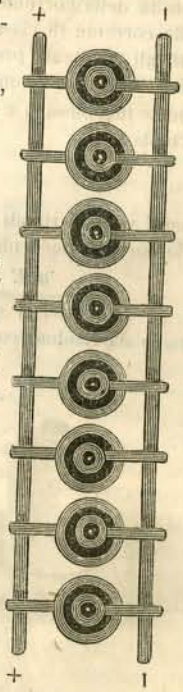


Fig. 475.

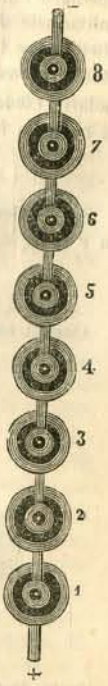


Fig. 476.

555. Misura delle forze elettromotrici. — La formula generale di Ohm $F = \frac{E}{R}$ mostra che, se si possono misurare ad un tempo l'intensità di una corrente e la resistenza del filo da essa attraversato, si potrà dedurre il valore

(1) Il massimo effetto fornito da un dato numero di elementi, ottenendosi quando la resistenza esterna uguaglia la interna, converrà procurare di avvicinarsi a questa condizione, combinando, o tutti gli elementi in serie, o tutti in batteria, od in più serie combinate fra loro in batteria. È facile di trovare per tentativi, e senza alcun calcolo, quale sia il modo di aggruppamento che, pel dato caso, fornisce il massimo di intensità. Per esempio, se si avessero 8 elementi, si potrebbero riunire: tutti in serie (fig. 476); tutti in batteria (fig. 475); formarne 4 serie, di 2 elementi, riunite in batteria (fig. 474), o 2 serie di 4 elementi, riunite pure in batteria (fig. 473).

NOTA DEL TRADUTTORE.

correnti e correnti
correnti e calamite
calamite e calamite

della forza elettromotrice *E*. Esperienze fatte in proposito con coppie dei diversi sistemi poterono così dare, per ciascuno di essi, il rapporto rispetto a quello di un sistema scelto per tipo o per unità.

Gli è così, per esempio, che si è trovato che un elemento Daniell, caricato a solfato di zinco ed a solfato di rame, ha una forza pari a quella di 174 coppie di bismuto e rame, le di cui saldature sieno scaldate a 0° ed a 100°.

CAPITOLO XII.

ELETTRODINAMICA.

Correlazione

Elettricità Magnetismo

556. Azione mutua delle correnti. — L'azione di una corrente su di un'ago magnetico mostra come tra il magnetismo e l'elettricità esiste una stretta correlazione; questa correlazione si sarebbe già potuta intravedere dal fatto delle perturbazioni che i colpi di fulmine, o le forti scariche elettriche, producono nel magnetismo degli aghi. Ma i fatti di questa natura che si erano osservati, mancavano di precisione ed erano insufficienti a far risaltare la legge, od anche solo il senso generale dei fenomeni: l'esperienza di OErstedt presentava tutt'altro carattere. La deviazione dell'ago magnetico per mezzo della corrente accade in un senso determinato, facile a prevedersi ed a formularsi a priori. Gli è perciò che Ampère non esitò, fin dal principio, ad assegnare una stessa origine all'elettricità ed al magnetismo. Osservando che le calamite agiscono mutuamente le une sulle altre, suppose che lo stesso doveva accadere dell'azione delle correnti sulle calamite, vale a dire che, se le calamite fossero fisse e le correnti mobili, queste dovevano disporsi, rispetto alle prime, in modo tale che la regola generale fissata più sopra (542) fosse soddisfatta. Il problema di rendere un conduttore mobile, senza interrompere le correnti, presentava gravi difficoltà, che il genio di Ampère seppe risolvere. La figura 477 rappresenta la disposizione da lui adottata. Due colonne metalliche presentano alla loro parte superiore due lamine orizzontali, che terminano con due piccole scodelline di ferro, poste nella stessa verticale. Un filo metallico, avvolto a rettangolo, per esempio, termina con due punte, poste sull'asse di simmetria del conduttore, vale a dire sulla linea che contiene il centro di gravità. Se dunque si appoggiano le punte nelle scodelline, il rettangolo sarà equilibrato e quindi perfettamente mobile intorno alla linea passante per le punte stesse. Basta allora porre del mercurio nelle scodelline e far

OERSTEDT

ago magnetico corrente

AMPÈRE

stessa origine elettricità magnetismo

AMPÈRE

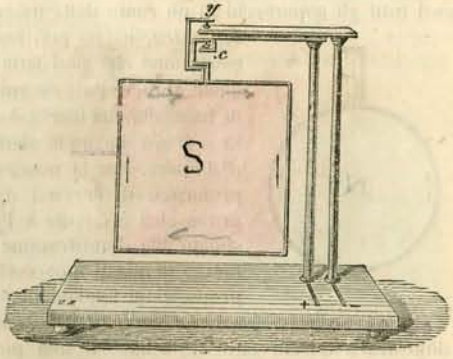


Fig. 477.

GENIO

AMPÈRE!

(1)

(1) NB Gli estremi pescanti nelle scodelline qui sono poste sulla stessa verticale; ciò che è contro l'obiezione di VALLAURI.

passare una corrente dalle colonne, essa circolerà nel conduttore, il quale potrà, ciò non pertanto, muoversi, senza che si abbia a lamentare alcuna interruzione. Invece di far uso di una corrente rettangolare, si potrebbe adottare una corrente circolare (fig. 479), o di qualunque altra forma. È allora facile di constatare l'azione mutua della calamita e della corrente; basta perciò di porre una calamita *A B* (fig. 478) sotto il conduttore mobile; si osserva così che questo devia, si pone ad angolo colla calamita, ed in modo che il polo australe si trova a sinistra della corrente.

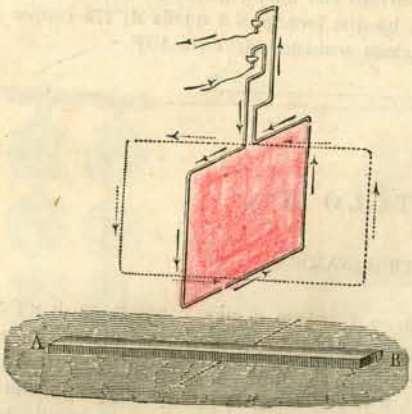


Fig. 478.

557. Azioni mutue delle correnti. — La supposta identità del magnetismo e dell'elettricità conduce naturalmente ad ammettere che le correnti debbono agire le une sulle altre. Ampère, non solo riescì a rendere evidente questo fatto, ma ne moltiplicò le manifestazioni, e creò così tutti gli apparecchi di un ramo della fisica, al quale si dà il nome di *elettrodinamica*, e che può esser considerata come la più gran concezione che siasi fatta dopo Newton. L'apparecchio col quale Ampère potè eseguire tutte le esperienze che servono di base alla sua teoria, è una vera meraviglia di sagacità, e lo si trova ancora in alcuni gabinetti sotto il nome di *tavola d'Ampère*. Per la maggior comodità, nell'insegnamento, si preferisce di servirsi di apparecchi distinti, dei quali la prima idea è dovuta a Pouillet, e ciascuno dei quali è destinato alla dimostrazione di un fenomeno particolare. È col mezzo di questi apparecchi che noi spiegheremo alcune delle proposizioni fondamentali dell'elettro dinamica.

Fig. 479.

I. *Le parti di una stessa corrente si respingono.* — Per dimostrare questo fatto si fa uso di una piccola cassa rettangolare (fig. 480) divisa in due scomparti da una tramezza. In ciascun scompartimento si pone del mercurio ben purgato, e si stabilisce fra loro la comunicazione con un filo di ottone, appoggiato sul mercurio e facente arco al disopra della tramezza. Quando, in queste circostanze, si pongono i due poli di una pila in comunicazione col mercurio dei due scompartimenti, si vede che il piccolo conduttore mobile vien spinto verso la parte posteriore della cassa.

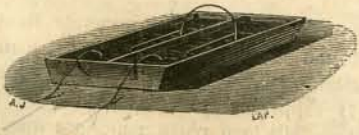


Fig. 480.

II. *Due correnti parallele dirette nel medesimo senso, si attirano; due correnti parallele dirette in sensi contrari si respingono.* — L'apparecchio adoperato per dimostrare questa doppia proposizione è formato da due colonne metalliche *i* e *v* (fig. 481), comunicanti superiormente con due lamine orizzontali,

[redacted]

le correnti parallele si attirano perchè le correnti si comportano come lamine magnetiche

terminate da scodelline x ed y. Su queste scodelline, riempite di mercurio, si appoggia il conduttore rettangolare mobile $a\,b\,c\,d\,e$. Come si vede, se si pongono i lati verticali del rettangolo in vicinanza alle colonnette, come lo mostra la figura, le correnti dirette nei due sistemi hanno il medesimo senso. Disponendo allora i lati mobili ad una piccola distanza dalle colonne, si vede, allorquando passa la corrente, manifestarsi un' attrazione.

Onde constatare la ripulsione si fa uso del rettangolo (fig. 482), ripiegato in modo che le correnti affacciate riescano dirette in sensi opposti; posto questo circuito nel piano delle colonne, quando si faccia passare la corrente, si vede prodursi una viva ripulsione ed il rettangolo girerebbe di 180° se non ne fosse impedito dai pezzi che portano le scodelline.

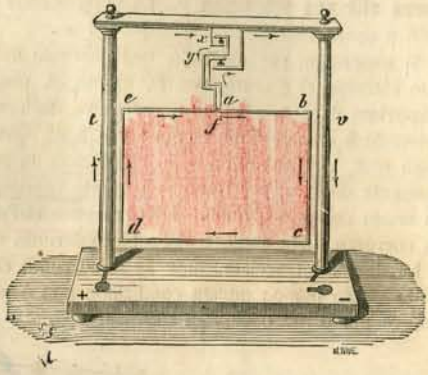


Fig. 481.

III. *Le correnti angolari si attirano quando sono ambedue dirette verso il vertice dell'angolo, o se ne allontanano tutt' e due: si respingono quando, una si avvicina al vertice dell'angolo e l'altra se ne allontana.* — Invece di dimostrare direttamente la proposizione nei suoi diversi casi, si può verificare una conseguenza assai semplice alla quale essa conduce.

Supponiamo che le due correnti $A\,B$ e $C\,D$ (fig. 483), incrociantesi nel punto O, e vediamo quale sarà il risultato delle loro mutue azioni. Dietro la proposizione che si tratta di dimostrare, si avrà attrazione nei due angoli $A\,O\,D$ e $C\,O\,B$, ripulsione nei due angoli $D\,O\,B$ e $C\,O\,A$. Queste quattro azioni concordano evidentemente nel far girare le correnti, così da disporle parallelamente fra loro, ed in modo da esser dirette nello stesso senso.

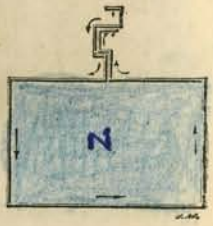


Fig. 482.

Questa conseguenza si verifica assai facilmente nel modo seguente. Si sospende all'apparecchio già descritto

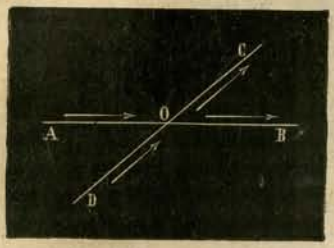


Fig. 483.

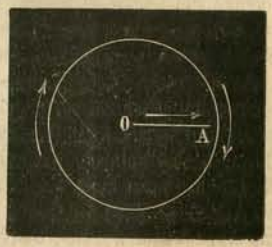


Fig. 484.

(fig. 477 e 478) un conduttore rettangolare, del quale il lato inferiore orizzontale, è posto al disopra di un conduttore fisso, in modo da fare con esso un angolo. Appena passi la corrente, il conduttore mobile si pone in moto e si dispone parallelamente al conduttore fisso; di più, si riscontra che le correnti, nelle parti che agiscono una sull'altra, sono nel medesimo senso, come si era dichiarato.

558. Azione di una corrente circolare su di una corrente finita, mobile intorno alla sua estremità. — La proposizione precedente conduce a conseguenze utili a conoscersi.

Si supponga, per esempio, una corrente finita OA (fig. 484), mobile intorno al suo estremo O e sottoposta all'azione di una corrente circolare. Consideriamo dapprima il caso in cui la corrente va dal centro alla circonferenza. Da quanto precede è chiaro come la porzione di corrente situata al disopra della corrente fissa OA, l'attira, mentre è respinta dalla porzione che si trova al disotto; la corrente finita girerà dunque in modo continuo. Il moto di rotazione accadrà poi in senso opposto a quello della corrente circolare. L'opposto avrebbe luogo se la corrente finita andasse dalla circonferenza al centro.

La figura è tracciata come se la corrente OA e la corrente circolare fossero nello stesso piano; questa condizione non è necessaria, e la prima corrente può essere più o meno elevata sopra la seconda.

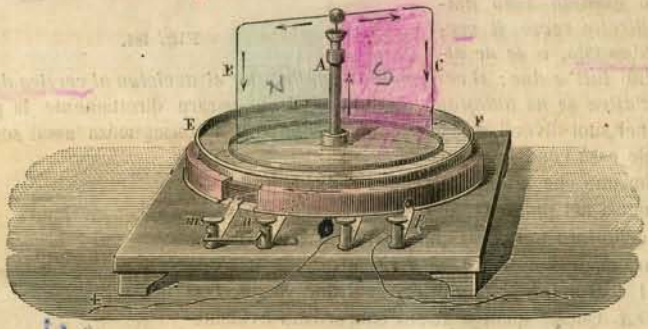


Fig. 485.

Si verifica sperimentalmente questo fenomeno di rotazione per mezzo dell'apparecchio seguente. Intorno al bacino di rame EF (fig. 485) è avvolto un filo conduttore, le di cui estremità sono in comunicazione coi serrafili metallici m ed o. Al centro del bacino si innalza la colonnetta metallica A, terminata superiormente da una scodellina. Questa colonna è in comunicazione col serrafili n; il lembo del bacino comunica poi col serrafili p. Si versa dell'aqua acidulata nel bacino e del mercurio nella scodellina, e su questa si pone, appoggiato per una punta, il piccolo apparecchio BC, formato da due rami orizzontali, che si piegano verticalmente e vengono a fissarsi ad un anello immerso nell'aqua acidulata.

Ciò posto, si supponga che si facciano comunicare direttamente m ed n e che si fissino in o e p i reofori di una pila. La corrente, arrivando da o, seguirà il conduttore circolare, arriverà in m e poscia in n, salirà nella colonna centrale, come indicano le freccie, discenderà pei fili B e C, passerà nell'aqua acidulata ed uscirà da p. Dal momento in cui sono stabilite le comunicazioni, si vedrà il pezzo BC girare nel senso previsto dalle teorie, vale a dire nel senso contrario

alla corrente circolare. Se si ponesse il reoforo positivo in p, si ponessero in comunicazione diretta n ed o e si facesse arrivare nell'aqua acidulata la corrente, questa passerebbe nel conduttore $B\,C$, diretta dalla circonferenza al centro; siccome per mezzo della colonna centrale passerebbe in n e poi in o, il suo senso

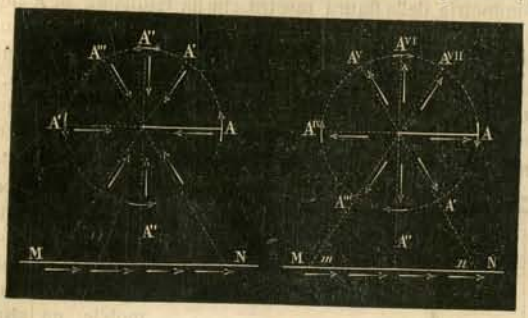


Fig. 486.

nel circuito circolare resterebbe lo stesso di quello ottenuto colla precedente disposizione; in queste condizioni il conduttore mobile si pone in rotazione in senso opposto a quello del primo caso.

559. Azione di una corrente rettilinea indefinita su di una corrente finita, mobile intorno alla sua estremità. — Una corrente finita mobile intorno ad una sua estremità, può provare un movimento di rotazione anche sotto l'azione di una corrente rettilinea indefinita; ciò è chiaramente mostrato dalla figura 486. Infatti, la corrente $O\,A$, diretta dal centro alla circonferenza, e sottoposta all'azione della corrente indefinita $M\,N$, dapprima è attirata in $O\,A'$; in questa nuova posizione è respinta da $n\,N$ ed attirata da $m\,n$; passerà dunque successivamente in $O\,A''$, $O\,A'''$, $O\,A_{IV}$. In quest'ultima posizione particolare, in cui le correnti agenti sono parallele e di senso opposto, si ha ripulsione e la corrente mobile è spinta in $O\,A_V$, $O\,A_{VI}$, $O\,A_{VII}$, dalle quali ritorna alla posizione iniziale $O\,A$. Si ha dunque rotazione continua e si vede che se, per esempio, la corrente $M\,N$ è diretta dall'est all'ovest, la rotazione accade dall'ovest all'est passando pel sud. Se la corrente mobile fosse diretta in senso inverso, vale a dire da A verso O, la rotazione avrebbe luogo evidentemente dall'ovest all'est, passando pel nord.

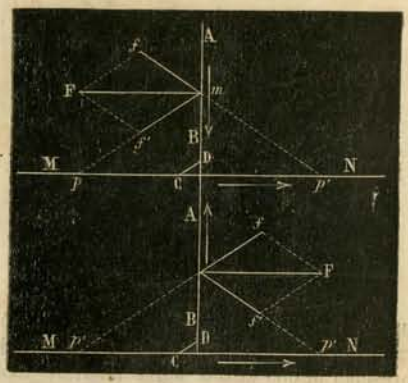


Fig. 487.

560. Azione di una corrente rettilinea indefinita sopra una corrente finita perpendicolare alla sua direzione. — Sia $A\,B$ (fig. 487) una corrente finita discendente, situata al disopra e dietro una corrente indefinita $M\,N$; si tracci la

perpendicolare DC comune alle due correnti e si considerino due elementi p e p' situati, uno da una banda, l'altro dall'altra del punto C e ad ugual distanza da esso. L'azione di p' sul punto m della corrente è ripulsiva e diretta secondo mf; l'azione di p è attrattiva e diretta secondo mf'; queste due azioni sono uguali, e la simmetria della figura mostra che la risultante mF delle due azioni è parallela ad MN. Questo ragionamento applicandosi a tutti i punti delle due correnti, ne segue che la corrente mobile si muoverà parallelamente a sè stessa ed alla corrente MN. Nel caso in cui la corrente finita è discendente, il movimento è contrario a quello della corrente indefinita; riescirebbe di ugual senso se la corrente fosse ascendente. I due casi sono rappresentati nella figura.

561. Correnti sinuose. — Una corrente sinuosa che poco si allontani da una corrente rettilinea, agisce colla medesima intensità di questa e può ad essa sostituirsi. Si dimostra questo fatto avvicinando ad un conduttore mobile un altro conduttore fisso, costituito da un filo ripiegato su sè stesso in modo da formare due rami (fig. 490),

Azioni elettrodinamiche

Sostituzione di corr. sinuose a corr. rettilin.

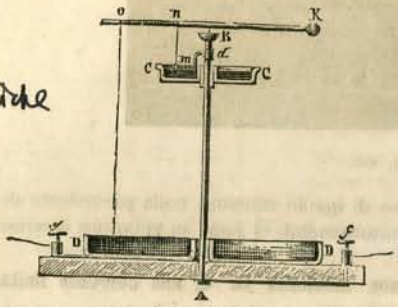


Fig. 488.

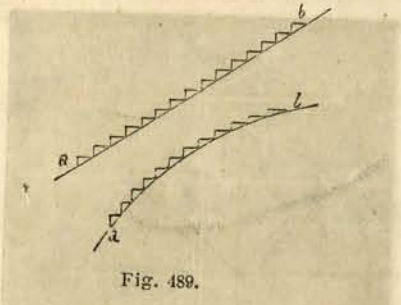


Fig. 489.

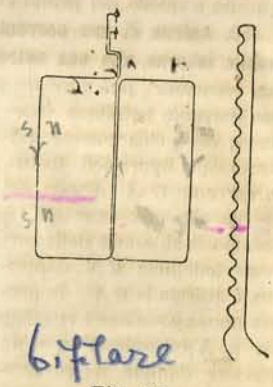


Fig. 490.

uno dei quali è rettilineo, mentre l'altro è sinuoso. La corrente percorre i due rami del filo in senso contrario, e si può riscontrare che, in qualunque caso, non presenta azione alcuna sul conduttore mobile; ciò indica appunto che le due correnti agiscono con intensità uguali e contrarie.

Questa proprietà non si applica solamente alle correnti rettilinee, ma bensì anche alle correnti di forma qualunque, e costituisce il fondamento dell'elettro-dinamica. Si capisce infatti che i conduttori di forma qualsiasi (fig. 489) potranno sempre decomporsi in una serie di piccoli elementi rettilinei, la di cui muta azione potrà esser così più facilmente studiata e condurre alla conoscenza dell'azione totale.

562. Azione della terra sulle correnti. — Le correnti elettriche mobili possono, lasciate libere, eseguire movimenti dovuti all'azione della terra. Così, se nell'apparecchio rappresentato dalla figura 488 si fa passare la corrente, in modo che essa riesca ascendente nel ramo verticale, questo si porterà all'ovest e vi si manterrà in equilibrio stabile; si porterebbe all'est se la corrente fosse discendente.

L'apparecchio è formato da due vaschette *C C*, *D D*, la prima delle quali è portata dalla colonna metallica verticale *A B*; una sostanza isolante impedisce il contatto della colonna colle vaschette. Un filo metallico *m n o*, piegato in modo che le sue estremità arrivino in ciascuna delle vaschette, è portato da un' asta munita di contrappeso *K*, e costituisce un'apparecchio mobile su di una punta *B*, poggiante nella scodellina che termina la colonna. Questa poi comunica, da una parte colla vaschetta superiore per mezzo del pezzo *d*, e dell'altra col serrafili *f*. La vaschetta inferiore poi è in comunicazione col serrafili *g*. Si vede dunque che, se una corrente giunge da *g*, fornirà una porzione finita verticale ed ascendente; si avrebbe una corrente discendente facendola entrare da *f*.

Questi movimenti sono senza dubbio un caso particolare dell'azione fra le calamite e le correnti, giacchè la magnete terrestre deve agire come una magnete comune. Essi possono però anche spiegarsi coll' esistenza di una corrente terrestre (fig. 491) diretta dall' est all' ovest e situata sotto l'orizzonte. Questa ipotesi ha sulla prima il vantaggio di rannodare il fenomeno in questione a fenomeni di ugual natura e di svelare, in un caso particolare, la connessione intima del magnetismo e dell'elettricità. Come si vede infatti, la magnete terrestre può esser sostituita da una corrente elettrica perpendicolare al meridiano magnetico, posta sotto l' orizzonte e diretta dall'est all'ovest.

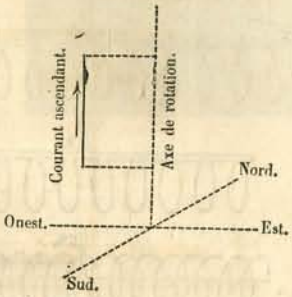


Fig. 491.

equivalen
RELAZIO
Connessio
intima
fra
magnetism
e
elettricità

L'esperienza precedente fa conoscere la direzione della corrente terrestre, ma non però la sua posizione. Potrebbe essa infatti trovarsi al nord, al sud, od anche sotto i nostri apparecchi, rimanendo in ogni caso uguale l'effetto. Si ha però un mezzo per togliere l' incertezza; si faccia perciò uso dell' apparecchio descritto al § 556, avendo riguardo di far passare la corrente solamente nell' apparecchio mobile; se la corrente passa nel ramo orizzontale dalla circonferenza al centro, la si vedrà, sotto l'azione della terra, muoversi dall'ovest all'est, passando pel nord; la rotazione ha luogo dall' ovest all' est passando pel sud, se la corrente mobile va dal centro alla circonferenza. Questo fenomeno può spiegarsi, o con una corrente dall'est all' ovest posta al sud, o con una corrente dall' ovest all' est posta al nord (fig. 492); ma quest' ultima ipotesi è inammissibile, giacchè la direzione è già decisa in modo sicuro.

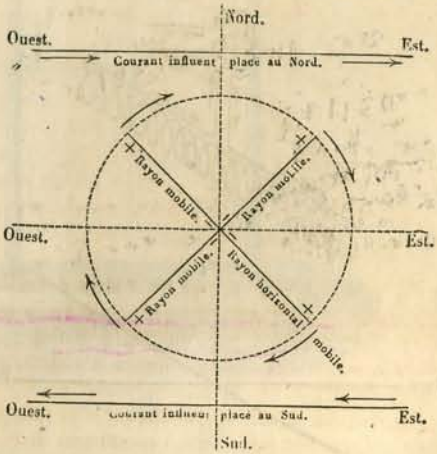


Fig. 492.

L'azione elettro-dinamica del globo terrestre può dunque venir rappresentata da quella di una corrente situata al sud dell'Europa, e circolante nel globo dall'est all'ovest. Siccome si possono immaginare eseguite delle esperienze analoghe nei diversi punti del globo, si ne deduce che si tratta di una corrente chiusa, situata verso l'equatore ed il di cui piano non differisce molto da quello dell'equatore magnetico. Su questo soggetto convien fare un' osservazione analoga a quella che venne fatta a proposito delle magneti. La corrente equatoriale terrestre non deve essere considerata come una realtà fisica; essa rappresenta solamente la risultante delle azioni delle diverse correnti che, per cause diverse, e specialmente per quella delle variazioni di temperatura, solcano l'interno del globo.

563. Solenoidi. — La corrente terrestre spiega naturalmente la direzione dell'ago magnetico; infatti è questo un caso particolare dell'esperienza di OErstedt. Ma l'ago magnetico stesso può esser sostituito da un ordigno elettrico; è questa, senza contestazione, la più bella scoperta di Ampère, la concezione forse la più notevole offertaci dalla storia delle scienze.

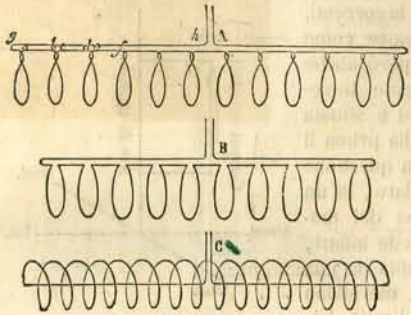


Fig. 493.

Si sospenda infatti all'apparecchio a colonne (fig. 477) una corrente rettangolare o circolare; essa si orienterà, ponendosi in un piano perpendicolare al meridiano magnetico, ed in modo che, nella parte inferiore, la corrente vada dall'est all'ovest.

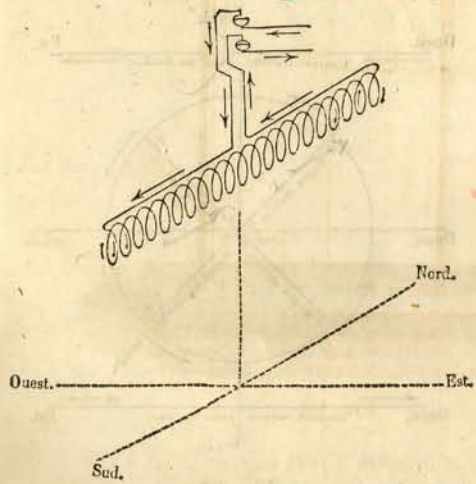


Fig. 494.

Se dunque si imagina una serie di correnti circolari chiuse, dello stesso senso e disposte perpendicolarmente ad una retta, questa retta, vale a dire l'asse del sistema, dovrà dirigersi come un ago magnetico; questo sistema è stato da Ampère detto *solenoide*. La realizzazione di questa idea, presenta, a prima giunta, delle difficoltà insormontabili; infatti, come procurarsi questa serie di correnti chiuse individuali che costituiscono il solenoide? Queste difficoltà vennero risolte nel modo il più felice.

Suppongasi che si avvolga (fig. 495) un filo metallico in modo da formare dei cerchi, uniti gli uni agli altri con un tratto rettilineo; questo sistema non differirà da un solenoide che per le porzioni rettilinee; ma, se si ripiega il filo alle estremità, e

lo si riconduce al mezzo, come lo mostrano le figure *A* e *B*, la corrente che attraverserà questa porzione rettilinea, riescirà di senso contrario a quella che percorre la porzione rettilinea che riunisce i cerchi; ne distruggerà dunque l'effetto ed il sistema equivarrà ad un vero solenoide.

Invece di questa disposizione si può, fondandosi sulla legge delle correnti sinuose, adottare quella, molto più comoda, rappresentata dalla figura *C*. Il filo è avvolto ad elica; ciascuna spira rappresenta così un circuito chiuso, più una porzione rettilinea uguale al passo; il retrocedere del filo distrugge l'effetto di questa porzione rettilinea.

Così dunque si può realizzare l'idea del solenoide; sospeso questo che sia all'apparecchio a colonne citato (fig. 494), se vi si fa passare la corrente, lo si vede immediatamente orientarsi e disporsi parallelamente all'ago di declinazione. Le estremità del solenoide, portano gli stessi nomi dei poli corrispondenti di un ago magnetico. Queste estremità sono, del resto, facili a distinguersi l'una dall'altra, la corrente infatti, camminando nella parte inferiore dall'est all'ovest, se si osserva di fronte il polo australe, si troverà la parte ascendente della corrente a dritta; l'opposto ha luogo

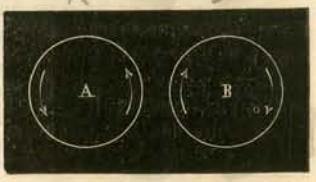


Fig. 495.

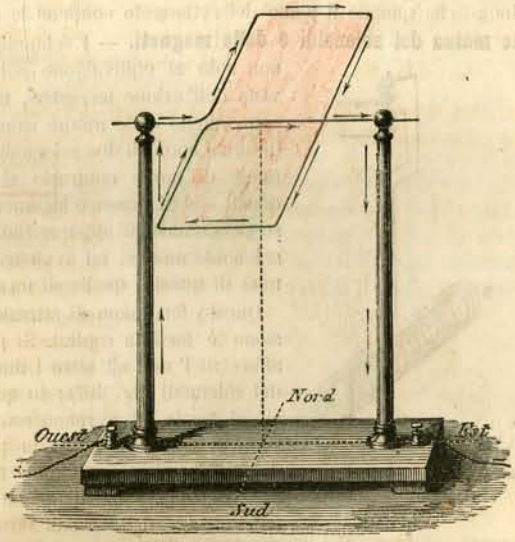


Fig. 496.

pel polo boreale. La figura 495 mostra il polo australe *A* ed il polo boreale *B* di un solenoido, quali li vedrebbe un osservatore guardandoli di fronte. Questa disposizione è pure visibile nella figura 494.

564. Inclinazione del solenoido. — Se si potesse far uso di un solenoide affatto libero di muoversi intorno al suo centro di gravità, lo si vedrebbe disporsi pa-

rallelamente all'ago di inclinazione. Questa esperienza è press'apoco irrealizzabile con un solenoido propriamente detto, in causa del suo peso; la si può però eseguire con uno de' suoi elementi; il carattere dimostrativo è precisamente lo stesso. Si fa uso, come lo rappresenta la figura 496 di un rettangolo mobile intorno ad un asse passante pel suo centro, e perpendicolare al meridiano magnetico. Appena la corrente passa in questo circuito, esso si dispone in un piano inclinato all'orizzonte, e si riconosce che fa con questo un angolo uguale alla inclinazione magnetica.

Fig. 497.

Questa esperienza fa conoscere la direzione del piano della corrente terrestre, la quale è, come si è detto, quello dell'equatore magnetico. Da questa esperienza risulta dimostrato che un solenoido libero si disporrebbe parallelamente all'ago di inclinazione. Dunque, sotto il punto di vista dell'azione terrestre, l'ago magnetico può venir esattamente sostituito da un solenoido. Si vede di più che, nella posizione d'equilibrio, due dei lati del rettangolo riescono paralleli alla corrente terrestre, gli altri due le sono perpendicolari. Questi provano azioni la cui risultante è nulla. Dei due primi lati citati, uno è attirato, l'altro respinto, e l'equilibrio non ha luogo che quando il piano del rettangolo contiene le due forze.

565. Azione mutua dei solenoidi e delle magneti. — I solenoidi e le magneti non solo si equivalgono sotto il punto di vista dell'azione terrestre, ma bensì anche sotto quello delle mutue azioni. Così, i poli di ugual nome di due solenoidi si respingono, quelli di nome contrario si attirano; fatti questi che si possono facilmente riscontrare, sospendendo all'apparecchio a colonne un solenoide mobile, ed avvicinando alle estremità di questo, quelle di un solenoido fisso.

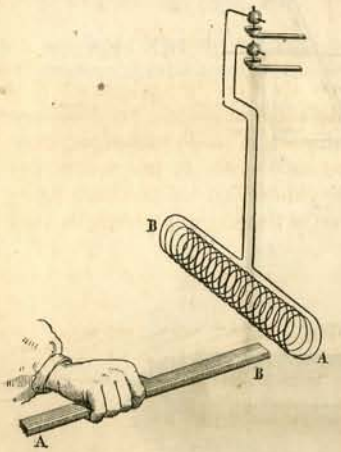


Fig. 498.

Questo fenomeno di attrazione e di ripulsione è facile a capirsi. Si pongano infatti affacciati l'uno all'altro i due poli australi dei solenoidi (fig. 497); in qualunque modo ciò si faccia, si avranno sempre delle correnti di senso contrario in presenza l'una dell'altra e si avrà dunque ripulsione. Se i poli accostati sono di nome contrario, le correnti agenti l'una sull'altra sono di senso uguale, e si ha attrazione.

Se, finalmente, alle estremità di un solenoide si avvicinano i poli di una magnete (fig. 498), si ha una azione reciproca, identica a quella di due calamite: attrazione o ripulsione, a seconda che le estremita accostate sono di ugual nome o di nome contrario. Il solenoide si comporta dunque assolutamente come un ago magnetico e ne è una rappresentazione di meravigliosa esattezza. « Fino a questa invenzione di Ampère nulla

aveva potuto imitare l'ago magnetico; dopo di essa, non se n'è trovata altra immagine » (1).

Si aggiunge finalmente che l'esperienza fondamentale d'OErstedt è una conseguenza dell'azione di una corrente su di un solenoido.

566. Circuiti astatici. — L'influenza della terra sulle correnti dà luogo a perturbazioni nell'osservazione dei fenomeni elettro-dinamici. Si toglie questa influenza facendo uso di circuiti astatici, simili a quelli rappresentati dalle figure 499 e 500. Come si vede, il conduttore mobile *a b c d e f g h* è, in ambedue i casi, formato di due metà, che dovrebbero orientarsi in modo inverso sotto l'azione del globo; questa è dunque senza effetto e si può studiare, senza cause di errore, di questo genere almeno, le azioni elettro-dinamiche sui rami verticali ed orizzontali dei conduttori così disposti.

567. Teoria del magnetismo. — Fondandosi sui fatti precedenti, Ampère venne

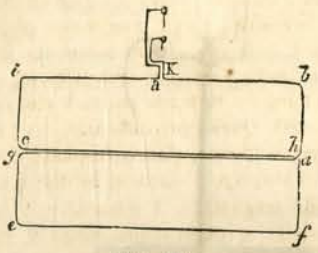


Fig. 499.

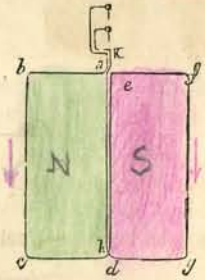


Fig. 500.

nelle supposizioni che ciò che dicesi magnetismo sia il risultato di correnti elettriche chiuse, esistenti nelle particelle stesse dei corpi magnetici. Nei corpi magnetici, ma non magnetizzati, le correnti sono disposte in modo qualunque, mentre nelle magneti esse son tutte dirette nel medesimo senso. In una sezione trasversale, per esempio, le correnti affettano la disposizione indicata dalla figura 501. Nell'interno del corpo le correnti particolari si trovano in presenza da tutte

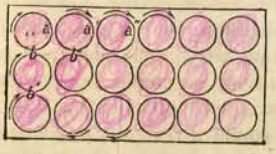


Fig. 501.

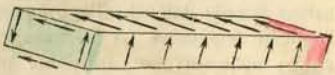


Fig. 502.

le parti con correnti contrarie, di modo che le cose passano come se non esistesse che una corrente unica esterna, come lo mostra la figura 502. In un corpo magnetico, sotto l'influenza di una magnete, le correnti si orientano, per la tendenza loro a disporsi sempre parallele le une alle altre. Se il corpo magnetico possiede *forza coercitiva*, l'orientazione persiste anche dopo che l'influenza dell'azione che l'ha prodotta è cessata; se, all'opposto, si tratta di ferro dolce, nel

(1) Quet, *Rapporto sull'elettricità ed il Magnetismo*, pag. 12.

quale tal forza non esiste, le correnti, cessata l'influenza, riprendono direzioni qualunque e quindi l'effetto esterno è nullo.

La teoria d'Ampère permette di spiegare nel modo il più semplice tutti i fenomeni di elettro-magnetismo. Eccone un esempio.

568. Esperienza di Ampère. — Una calamita zavorrata con platino galleggia verticalmente nel mercurio contenuto in una provetta (fig. 503). Al disopra della calamita si trova una punta, che si fa scendere fino in una piccola cavità, presentata dalla calamita stessa alla sua parte superiore, nella quale si pone una piccola quantità di mercurio; in questa guisa la calamita vien mantenuta al centro della provetta. Ciò posto, si mettono i reofori della pila, uno in comunicazione colla punta e l'altra col mercurio della provetta; una corrente circola allora nell'apparecchio e la magnete fa parte essa stessa del circuito. Subito appena atti-

PILA

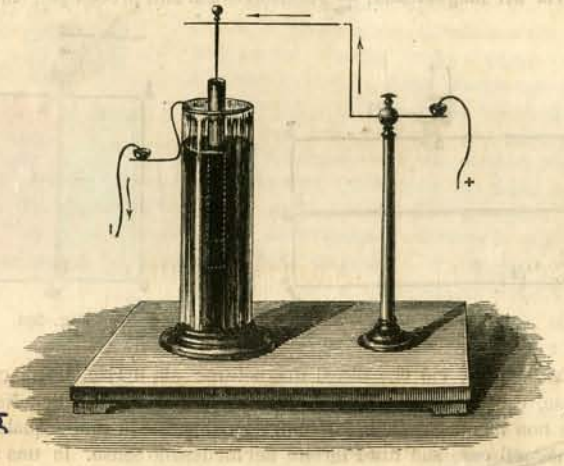


Fig. 503.

rotazione della calamita su sè stessa

vata la corrente si vede la calamita girare sopra sè stessa. Se è il polo australe quello che si trova alla parte superiore e la corrente arriva dalla punta, la rotazione accade dall'est all'ovest passando pel nord. Ecco la semplice spiegazione di questo fenomeno. La corrente arrivando dal centro della calamita (fig. 504) si irradia nelle diverse direzioni, per esempio, secondo ACD. La porzione di questa corrente che attraversa la calamita non potrebbe produrre alcuna azione sulla calamita stessa, giacchè è distrutta da una reazione uguale e contraria. La parte CD respinge la parte vicina Cm della corrente costitutiva della calamita, ed attira Cn. Lo stesso effetto si produce su tutti i punti della superfice della calamita e dà origine alla rotazione nel senso più sopra indicato. Infatti, se CD è la direzione del nord, per esempio, l'est si trova dalla parte di n e l'ovest dalla parte di m. Si spiegherebbe colla stessa facilità il senso della rotazione nel caso opposto a quello scelto. Qualche volta si dà all'esperienza una forma diversa. Si fa discendere la punta nel mercurio e si lascia galleggiare liberamente la calamita fuori dal centro. Dal momento che passa la corrente, la calamita si pone a girare intorno alla punta. Nel caso che la corrente entri dalla punta stessa,

La corrente si irradia nelle diverse direzioni

la rotazione accade dall'ovest all'est, passando pel nord. Infatti, le correnti *O D*, *O C* (fig. 505) agiscono sulle parti più vicine *n* ed *m* della calamita, la prima con una ripulsione, l'altra con un' attrazione; la calamita verrà dunque spinta verso

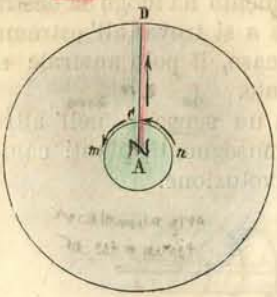


Fig. 504.

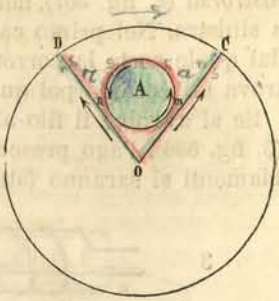


Fig. 505.

Q C e, siccome in tutte le posizioni si mantengono uguali le condizioni, quella girerà nel senso *D C*, chè appunto quello dichiarato.

CAPITOLO XIII.

ELETTROMAGNETI — TELEGRAFI.

569. Magnetizzazione per mezzo delle correnti. — La teoria di Ampère conduce a questa conseguenza inevitabile, che cioè le correnti devono produrre la magnetizzazione, giacchè non si tratta che di determinare una certa orientazione delle correnti particolari. Arago aveva pel primo constatato questo fatto, ma senza potere precisare nettamente le condizioni di successo di questa operazione e la natura dei poli ottenuti. Ampère ebbe l'idea di introdurre l'ago magnetico in un solenoido ed il risultato fu conforme alle sue previsioni, vale a dire cioè che l'ago assunse dei poli simili a quelli dell' elice magnetizzante. Tal fatto è però naturale, giacchè le correnti circolari dell' elica devono orientare parallelamente a sè stesse quelle che esistono nelle particelle dell'acciajo.

Si osservi che in questa operazione le parti rettilinee della corrente non possono avere alcun effetto; perciò si usa di porre l'ago in un tubo di vetro, per esempio, e di avvolgere semplicemente a spira, intorno al tubo, il filo metallico nel quale deve passare la corrente.

Tutte le parti dell'elica agiscono evidentemente nello stesso senso, ed il polo australe dell'ago magnetico viene a trovarsi sempre alla sinistra della corrente,

Si possono usare due speci di elica: l'elica *destrorsa* (1. fig. 506), nella quale l'avvolgimento si ha da sinistra a destra, e l'elica *sinistrorsa* (2. fig. 507), nella quale l'avvolgimento ha luogo da destra a sinistra. Nel primo caso il polo australe *a* si trova all' estremo dal quale sorte la corrente, nel secondo caso, il polo australe si trova all'estremo pel quale entra la corrente.

Se si avvolge il filo alternativamente in un senso e nell' altro (3. fig. 508), l'ago presenterà tanti punti conseguenti, quanti cambiamenti si saranno fatti nel senso dell'involuzione.

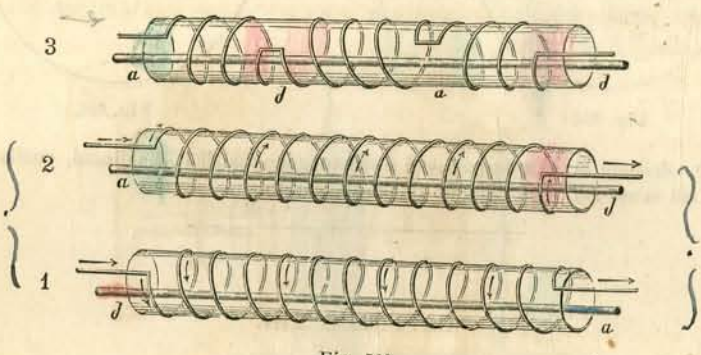


Fig. 506.

570. Elettrocalamite. — È pure ad Arago che si deve la prima osservazione dell' azione di una corrente sul ferro dolce. Avendo Arago avuta l' idea di immergere nella limatura di ferro un filo metallico attraversato da una corrente assai forte, osservò che i grani di limatura rimanevano aderenti al filo, che si mettevano ad angolo con esso e ricadevano appena la corrente cessasse dal passare; ciascun grano di limatura diventa evidentemente, in questa esperienza, una piccola magnete, che si dispone ad angolo colla corrente.

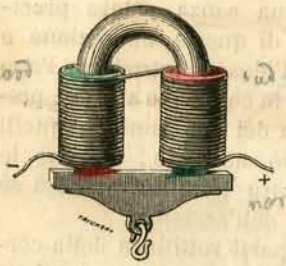


Fig. 507

Si ottiene l'energica magnetizzazione di un cilindro di ferro dolce, avvolgendogli intorno molti giri di filo metallico coperto di seta, o di qualunque altra materia isolante, e facendo in esso passare la corrente. La mancanza di forza coercitiva rende lo sviluppo del magnetismo assai più energico e si possono ottenere così delle calamite artificiali di grande potenza, dette *elettrocalamite*.

Alle elettrocalamite si dà spesso la forma di ferro di cavallo (fig. 507); in questo caso il filo viene avvolto in senso contrario

sui due rami, di modo che, supposta raddrizzata la spranga di ferro, l'avvolgimento si presenti dappertutto nello stesso senso. Da questa disposizione nascono sempre due poli contrari all'estremità della spranga.

La forza portativa di un elettrocalamita può crescere, per così dire, indefinitamente, man mano che si vanno aumentando le dimensioni della spranga, la lunghezza del filo e l'intensità della corrente che lo attraversa. Si possono così ottenere, per mezzo dell'elettricità e nel modo il più semplice, delle calamite di potenza considerevole; perciò è delle calamite temporarie che oggigiorno si fa

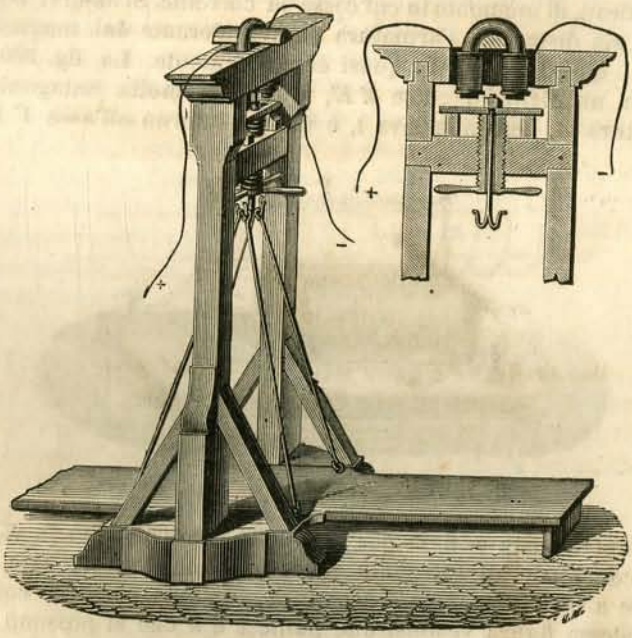


Fig. 508.

uso in molte circostanze, nelle quali prima si adoperavano le calamite ordinarie. La fig. 508 rappresenta l'elettromagnete che Pouillet aveva fatto costruire per la Facoltà di scienze di Parigi; essa può portare parecchie migliaja di chilogrammi.

Non è però alla loro potenza che le elettrocalamite devono specialmente il loro interesse, ma piuttosto alla possibilità di farle nascere e di distruggerle a volontà. Se infatti la corrente cessa dal passare nel filo, la magnetizzazione cessa, ed i pezzi che erano attirati possono riprendere la loro posizione iniziale. Si può così, coll'introduzione e la rottura successiva della corrente, ottenere dei

movimenti, i quali possono venir utilizzati in diversi modi e che infatto son divenuti il principio di applicazioni importanti.

571. Magnetismo residuo. — Al momento in cui la corrente cessa di circolare in un elettromagnete, la magnetizzazione non scompare completamente, ne sussiste invece una parte, piccolissima senza dubbio, ma che può bastare per mantenere, in certe circostanze, il contatto delle armature; questa rimanenza di magnetismo, dicesi *magnetismo residuo.* Si evitano gli inconvenienti che esso potrebbe produrre, coll'uso delle *molle antagoniste.*

Son queste, molle che riconducono alla loro posizione iniziale i pezzi attirati, al momento in cui cessa la corrente. Si osservi poi che, quando sia distaccata l'armatura tenuta aderente dal magnetismo residuo, questo scompare quasi completamente. La fig. 509 rappresenta un' elettromagnete $E\,E'$, munita di molla antagonista g. L'armatura A, fissa alla leva t, è mobile intorno all'asse $V\,V'$. La

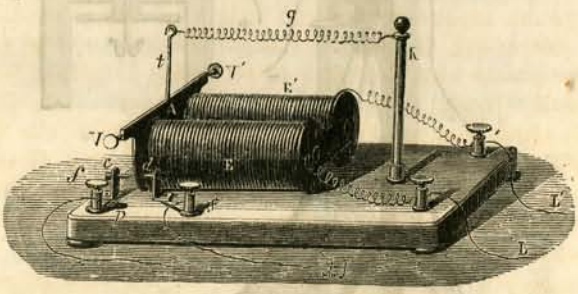


Fig. 509.

molla antagonista g, fissa per una delle sue estremità in K, si attacca coll' altra all' estremità superiore della leva t; essa tende dunque a far retrocedere l' armatura, quando cessa la corrente. Nella stessa figura vedonsi due punte c e d che si possono avvicinare più o meno all' armatura così da limitarne l'ampiezza dei movimenti.

572. Telegrafia elettrica. — Non appena constatata la grandissima velocità di propagazione della scarica elettrica in un circuito conduttore, si cercò di utilizzare questo mezzo per trasmettere segnali a distanza. Già nel 1747 Cavendish e Graham si mandavano scariche di batterie a parecchie miglia di distanza. Nel 1774 Lesage stabilì a Ginevra un vero telegrafo, formato da 24 fili isolati e comunicanti con 24 elettroscopi, dei quali ciascuno rappresentava una lettera dell'alfabeto. Nello stesso anno, Reiser, in Germania, proponeva di sostituire agli elettroscopi delle speci di quadri scintillanti, rappresentanti le lettere stesse. Questi tentativi non potevano

condurre ad un serio risultato, giacchè l' elettricità fornita dalle macchine ordinarie, è troppo difficile da conservarsi e troppo facile a disperdersi nel seguire un conduttore di lunghezza appena un po' significante. La scoperta di Volta permise di risolvere questa difficoltà di trasmettere l' elettricità a grande distanza. Infatti, la corrente elettrica, sebbene anch' essa sottoposta ai disperdimenti, può ciò non pertanto essere trasmessa a grandi distanze. Ma usando della corrente bisognava immaginare nuovi segnali; dapprima si tentò di utilizzare a questo scopo le decomposizioni chimiche, ed i fenomeni di commozione e di luce che possonsi produrre colla pila. Nel 1811 Sœmmering di Monaco proponeva un sistema telegrafico formato da 35 fili mettenti capo a 35 voltametri, rappresentanti le lettere e le cifre numeriche.

La scoperta di Œrstedt nel 1819, fornì una nuova risorsa, di applicazione assai più comoda. Ampère propose infatti, poco tempo dopo, di sostituire i segnali chimici di Sœmmering con galvanometri, dei quali ognuno rappresentava una lettera od una cifra. Ma l'impiego di 24 correnti è di una tale complicazione da non permettere di vedere, in questa idea dell' illustre scenziato, il germe della telegrafia attuale. Questa si deve invero alla scoperta del moltiplicatore di Sweiger. Col moltiplicatore si può ottenere che un ago mobile, posto in un piano verticale e mantenuto esso stesso verticale per mezzo di un eccesso di peso alla sua parte inferiore, possa ricevere una brusca deviazione verso destra o verso sinistra, a seconda che si lanci una corrente in un senso od in un altro. Si hanno così dei segnali ben netti ed effettuabili con rapida successione, giacchè in causa del suo eccesso di carica, l'ago prende prontamente la sua posizione verticale. Di più, non si ha bisogno che di una sola corrente. Questo ingegnoso sistema è dovuto a Schelling, che ne fece i primi tentativi in Russia, e che non potè però farlo funzionare su grande scala. Ciò non ostante è giustizia di considerare questo scenziato come uno dei fondatori della telegrafia elettrica, ed infatti la combinazione da lui immaginata, con una leggera modificazione dovuta Wheatstone, venne stabilita in Inghilterra nel 1840 e vi funziona ancora su alcune linee.

Schelling aveva aggiunto al suo apparecchio una spece di avvisatore assai imperfetto. Il signor Wheatstone ne immaginò uno molto più felicemente riuscito, nel quale era utilizzata la proprietà del ferro dolce di magnetizzarsi temporaneamente sotto l' azione della corrente. Del resto questa proprietà fornisce grandi risorse meccaniche pei segnali telegrafici stessi, ed è appunto su di essa che sono fondati la maggior parte degli apparecchi in uso oggigiorno. Il signor Wheatstone stesso costruì un telegrafo fondato sulla magnetizzazione temporaria del ferro dolce, impiegato per qualche tempo su alcune linee.

I sistemi telegrafici sono assai molteplici, e riescirebbe impossibile, senza uscire dai limiti di un trattato elementare, di far anche solamente conoscere tutti quelli il di cui principio presenta qualche interesse. Ci limiteremo dunque a descrivere sommariamente quelli ora usati. Prima però faremo qualche parola intorno alla produzione ed alla trasmissione della corrente.

573. Pile. — Le pile più comunemente usate sono le pile Daniell, caricate con sola aqua nello scomparto dello zinco. Lo scomparto del rame è caricato con una soluzione di solfato di rame, ma non vi si versa però la dissoluzione; si caricano direttamente i due scomparti con aqua, ciò che riesce assai più comodo, giacchè, il liquido essendo lo stesso, non si hanno da prendere precauzioni per non versare il liquido destinato all'uno degli scomparti, nell'altro. Si pongono in seguito dei cristalli di solfato di rame sul diaframma praticato a questo scopo; i cristalli restano immersi nell'aqua, vi si disciolgono e la soluzione non tarda ad essere satura.

La pila, così montata, può funzionare per diversi mesi senza bisogno di alcuna manipolazione. La sostituzione dell'aqua pura all'aqua acidulata è assai razionale; ha, è vero, l'inconveniente di indebolire la corrente, ma questo è un inconveniente secondario, giacchè, coll'uso dei relais, si può accomodarsi con una corrente di linea assai debole. Si ha invece il vantaggio della notevole resistenza data alla pila dall' aqua pura, cosicchè, le variazioni, che sempre si producono sulla linea, hanno un effetto meno significante sull'andamento degli apparecchi.

Qualche volta si fa anche uso della pila del signor Marié-Davy. È qaesta una pila a carbone come quella di Bunsen, caricata ad aqua semplice nello scomparto dello zinco. Il carbone è immerso in una pasta formata con solfato di mercurio. L'idrogeno proveniente dalla decomposizione dell'aqua acidulata, riduce l'ossido di mercurio ed il metallo cola al fondo del vaso poroso, da dove lo si raccoglie e si può trasformarlo nuovamente in solfato (1).

(1) Nei telegrafi italiani si fa uso dell'elemento Callaud, il quale è una modificazione del Daniell. L'elemento Callaud è formato da un vaso cilindrico di vetro, la di cui sezione, circa a metà altezza del vaso, si ristringe per breve tratto. Nell' inferiore dei compartimenti così formati, si pone una soluzione concentrata di solfato di rame, nel superiore dell' aqua semplice. Sul risalto formato dalle pareti del vaso, dove questo si ristringe, si appoggia un cilindro di zinco, di altezza poco inferiore a quella dello scomparto superiore. Nella soluzione di solfato rame è immensa una striscia di rame, che attraversa il liquido sovrapposto, difesa da una vernice isolante, e va a congiungersi allo zinco della coppia contigua. Questo elemento ha il vantaggio di potersi preparare facilmente. Dopo caricato non bisogna smuoverlo dal posto in cui si trova.

Servono pure utilmente pei telegrafi e pei campanelli elettrici, le pile formate

574. Linee. — I fili che servono alla trasmissione della corrente sono di ferro galvanizzato, vale a dire coperti d'uno strato di zinco; questi fili son portati da pali di legno, sui quali son fissati per mezzo di pezzi in porcellana (fig. 510), la di cui forma varia da un paese all'altro, ma che son però sempre fatti in modo da proteggere una parte del filo dalla pioggia.

Qualche volta le linee son sotterranee: in questo caso si isolano i fili con caoutchouc, gutta perca, o combinazioni diverse di queste sostanze. I fili sotterranei presentano un disperdimento minore dei fili aerei, ma oltre al prezzo più elevato, sono meno propri, in causa dell'induzione terrestre, alla rapida trasmissione telegrafica. Perciò non le si vedono impiegate che nelle traversate nelle città, e solo nel caso, del resto assai raro, in cui la trasmissione aerea riescirebbe impossibile.

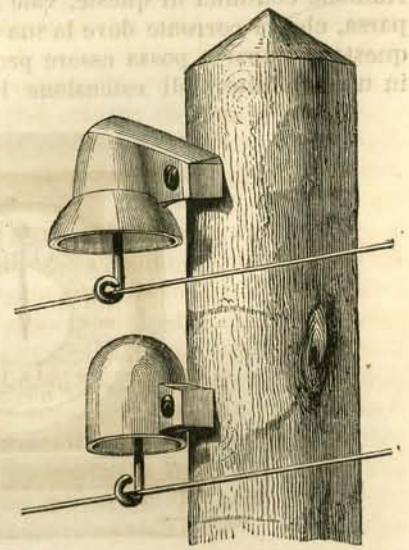


Fig. 510.

Dapprincipio si era creduto che, per trasmettere le correnti destinate ad animare gli apparecchi telegrafici, occorressero due fili, formanti il completo circuito. È il signor Steinheil di Monaco, che, verso il 1837, ebbe la prima idea della soppressione del filo di ritorno; egli riuscì a far circolare la corrente in un filo unico, le di cui estremità erano in comunicazione col suolo; constatò che in questo caso la corrente aveva la stessa intensità come se i due capi del filo fossero congiunti fra loro in

da elementi Minotto. L'elemento Minotto è costituito da un vaso cilindrico, più largo che alto, sul di cui fondo si trova un disco di rame, sopra al quale è disposto uno strato di solfato di rame in polvere; sopra di questo si adagia uno strato di sabbia non troppo fina, facente l'ufficio di diaframma poroso: sopra la sabbia, finalmente, si trova un disco di zinco. Dal disco di rame parte un filo di rame, rivestito di gomma elastica, o di altra sostanza isolante, il quale attraversa lo strato di solfato e quello di sabbia ed esce dal vaso. Un altro filo consimile è poi attaccato allo zinco.

La forza elettromotrice di queste coppie è pari a quella della Daniell.

NOTA DEL TRADUTTORE.

modo da formare un circuito completo. La terra agisce dunque come un conduttore di resistenza nulla, risultato questo in pieno accordo colla legge di Ohm.

Ciò nonpertanto, è probabile che la terra non debba considerarsi funzionante come un filo di ritorno riunente i due poli della pila; le esperienze fatte in proposito da Faraday sembrano condurre ad una conclusione differente. Se si immagina che il circuito traversato da una corrente venga rotto in una sua parte qualunque, la corrente cessa e le due estremità del circuito tendono a caricarsi, una di elettricità positiva, l'altra di elettricità negativa; è alla riunione continua di queste, vale a dire, in fatto, alla loro scomparsa, che la corrente deve la sua esistenza. Si capisce allora come questa scomparsa possa essere prodotta dallo scaricarsi continuo in un conduttore di estensione immensa; è questo il fenomeno

Fig. 511.

che probabilmente accade quando le estremità del filo telegrafico comunicano col suolo. La corrente positiva e quella negativa vanno a perdersi nel serbatojo comune, e l'attività delle forze che sviluppano l'elettricità si trovano così mantenuta.

575. Telegrafo a quadrante. — Questo telegrafo è specialmente usato sulle linee telegrafiche delle strade ferrate (1). In esso si fa uso delle lettere ordinarie dell'alfabeto; condizione questa che lo mette alla portata di tutti; tanto più poi che non esige alcuna conoscenza tecnica nelle persone che lo adoperano; gli è per tali motivi che esso si presenta vantaggiosamente al caso del servizio ferroviario,

(1) Pel servizio delle linee telegrafiche delle ferrovie italiane si fa esclusivamente uso del telegrafo Morse, descritto più innanzi.

giacchè si può impiegare il personale ordinario a farlo funzionare. In questo, come in qualunque altro apparecchio telegrafico in generale, si distinguono due parti, il *ricevitore*, che riceve ed effettua il segnale, il *manipolatore*, che lo trasmette.

La figura 511 rappresenta il ricevitore visto esternamente. Il quadrante porta segnate le 25 lettere dell'alfabeto, le quali, colla croce, costituiscono 26 segnali. Il ricevimento consiste nell'osservare l'indice che si muove, da sinistra a destra, fermandosi un istante su ciascuna delle lettere che costituiscono una parola, e sulla croce, alla fine di ogni parola. Ecco il modo col quale si producono questi movimenti dell'indice.

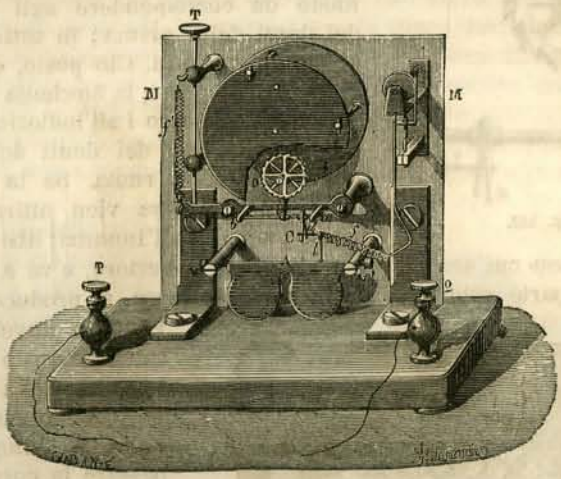


Fig. 512.

Un' elettrocalamita orizzontale (fig. 512), formata da due rocchelli, riuniti da una lamina di ferro alla loro parte posteriore, è posta alla parte inferiore della scatola che contiene tutto il meccanismo; questa elettrocalamita venne tolta nella figura e vi si vedono invece due cerchi che ne rappresentano la sezione. Di contro alle estremità dell'elettromagnete è disposta un'armatura A, mobile intorno ad un'asse orizzontale $V\ V'$, sottoposta all'azione di una molla antagonista f, che tende ad allontanarla dai poli dell'elettrocalamita stessa. La tensione di questa molla si può far variare per mezzo di una chiave manovrabile dall'esterno, e che agisce sulla molla per l'intermezzo di una leva. Come si vede, al passare della corrente l'armatura verrà attirata; quando quella cessa, ritornerà alla posizione primitiva, per l'azione della molla antagonista. All'armatura è attaccata un'asticina verticale l, terminata

alla parte superiore da un pezzo orizzontale *c;* questa asta partecipa naturalmente all' oscillazione dell' armatura. L' estremità *c* entra fra i denti di una forchetta *d*, fissata all' asse *a b*, il quale, a sua volta, porta superiormente il pezzo verticale *i*. Questo eseguirà dunque, dall' avanti all' indietro, dei movimenti corrispondenti a quelli dell'armatura. La sua estremità superiore giunge in contatto coi denti d' una ruota a scappamento *O*, che termina il roteggio di un motore ordinario.

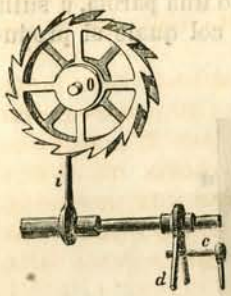


Fig. 513.

La ruota *O* è doppia (fig. 513); ha 13 denti alla parte anteriore ed altrettanti alla parte posteriore, disposti però in modo da corrispondere agli intervalli dei denti della prima; in tutto dunque si hanno 26 denti. Ciò posto, quando la corrente non passa, la forchetta *d* si trova in avanti, il pezzo *i* all'indietro, in modo da fermare uno dei denti della parte posteriore della ruota. Se la corrente passa, l' armatura vien attirata, ed il pezzo *i* si porta all'innanzi; libera quindi il dente con cui era in presa alla parte posteriore, e va a fermarne uno alla parte anteriore. Se la corrente cessa, si produce un movimento inverso, che causa l'arresto del dente seguente della ruota posteriore, e così di seguito. Se dunque si fa passare la corrente successivamente per 13 volte, si produrranno 26 piccoli movimenti nella ruota, la quale compirà così un intiero giro. L'asse della ruota porta l' indice, ed a ciascun punto d'arresto son segnate le lettere sul quadrante. Se l'indice si trova sulla croce, per farlo giungere alla lettera voluta, basterà far passare nell'elettrocalamita tante volte la corrente così che la somma delle emissioni e delle interruzioni formi un numero uguale al rango occupato dalla lettera nell' alfabeto. È appunto questa l'operazione effettuata dal manipolatore.

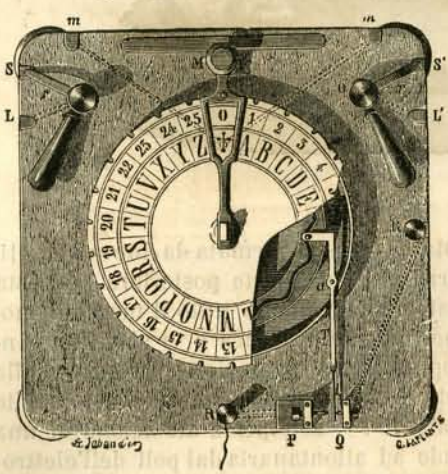


Fig. 511.

576. Manipolatore. — Il manipolatore (fig. 514), è formato da un quadrante in ottone, sul quale sono incise le 25 lettere dell'alfabeto e la croce. Al centro del quadrante si articola una manovella ad impugnatura, che puossi, sollevandola leggermente, far muovere in modo da farle percorrere tutto il quadrante. A ciascuna lettera corrisponde nel lembo del quadrante un' intaccatura, nella quale si può incastrare una caviglia fissata al manubrio; queste intaccature segnano la posizione giusta del manubrio, onde il manipolatore faccia segnare una data lettera. Ecco come si ottiene questo intento.

Il manubrio, nel suo movimento, trae con sè una ruota, il cui profilo sinuoso presenta 13 sporgenze e 13 concavità; sopra questo profilo si appoggia una delle estremità di una leva *T*, mobile intorno al punto *a*, della quale l' altro estremo oscilla fra le due punte *P* e *Q*. Quando la leva è in coincidenza con una sporgenza, essa comunica colla punta *P*; comunica invece con *Q* quando corrisponde ad una concavità. È appunto questo il caso segnato dalla figura.

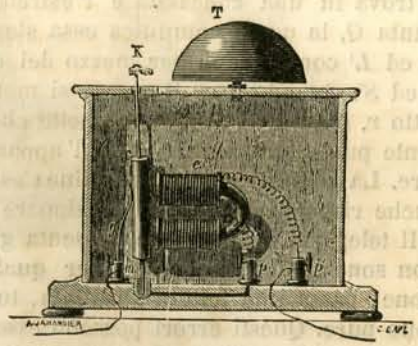


Fig. 515.

La corrente della pila entra dal morsetto *R* e la ruota è in comunicazione permanente colla linea, e quindi col ricevitore. Ciò posto, si supponga il manubrio coincidente colla croce; la testa della leva si trova allora in una concavità e la corrente non passa. Facendo girare la manovella, disponendola nella prima intaccatura, la corrente passa nella linea ed il ricevitore segna la lettera *A*; alla concavità seguente, la corrente è di nuovo interrotta ed il ricevitore segna la lettera *B*, e così di seguito. Se dunque i due apparecchi si trovano al segno iniziale, si avrà una assoluta concordanza di indicazioni.

577. Soneria. — Indipendentemente dal manipolatore e dal ricevitore, ciascun apparecchio è fornito da un organo destinato a prevenire, per mezzo di una soneria, l'invio di un dispaccio. Questi apparecchi presentano disposizioni diverse; la figura 515 rappresenta una delle sonerie più semplici. È formata da un elettromagnete *e*, dinanzi alla quale trovasi un' armatura *f*, portata da una lamina elastica; quando non passa la corrente l' armatura giace

in contatto di un pezzo g, in comunicazione col serrafili m. Le estremità del filo dell'elettrocalamita terminano a due serrafili p e p', il primo dei quali comunica colla lamina elastica che porta l'armatura. Se da m, per esempio, arriva la corrente, questa potrà circolare nell'elettrocalamita, e quindi l'armatura verrà attirata. Allora però, cessando il contatto dell'armatura colla lamina g, la corrente sarà interrotta e l'armatura ritornerà in contatto con g; nuova emissione di corrente seguita a sua volta da un'interruzione, e così di seguito. Durante il passaggio della corrente, si produrrà dunque una vibrazione dell'armatura. Questa, alla sua parte superiore, è terminata dal martello K, che, battendo sul timbro T, avverte l'impiegato.

In una stazione telegrafica, che deve comunicare in un senso e nell'altro della linea, vi sono due sonerie e due ricevitori, giacchè si possono simultaneamente ricevere due dispacci provenienti da direzioni opposte. Il manipolatore è unico ed i diversi pezzi che si scorgono sulla figura 514 son destinati a permettere il doppio servizio dell'apparecchio. Al riposo, la testa della leva T si trova in una concavità e l'estremo è in comunicazione colla punta Q, la quale comunica essa stessa col ricevitore R. Le linee L ed L' comunicano per mezzo dei contatti r ed r', colle sonerie S ed S'. Quando una di queste si mette in azione, si pone il contatto r, o quello r', sulle linguette che hanno capo in m; la corrente può allora attraversare l'apparecchio e giungere al ricevitore. La comunicazione colla linea essendo così stabilita, si può anche rispondere, facendo funzionare il manipolatore.

Il telegrafo a quadrante presenta gravi inconvenienti: i segnali non sono indipendenti e se, per qualche irregolarità di trasmissione, passa una lettera sbagliata, tutte quelle che la seguono lo sono pure. Questi errori possono essere frequenti, giacchè si producono delle continue variazioni nello stato della corrente, le quali possono condurre ad un difetto di misura nella forza della molla antagonista o nella corsa dell'armatura, elementi questi che infatti bisogna regolare ogni tanto. Quando tali inconvenienti abbiano luogo, la corrente non fa funzionare lo scappamento ad ogni emissione, ad ogni interruzione; nasce così un disaccordo tra il manipolatore ed il ricevitore, inconveniente che è sempre causa di perdita di tempo. Si aggiunga che il dispaccio non lascia alcuna traccia, e quindi la sicurezza del ricevimento è subordinata all'intelligenza non solo, ma anche alla fedeltà degli impiegati. Perciò i telegrafi a quadrante devonsi considerare come impropri ad un servizio appena un poco esteso. Le grandi linee fanno uso del telegrafo Morse o del telegrafo Hughes.

578. Telegrafo Morse. — Il telegrafo Morse presenta il vantaggio di

un meccanismo di notevole semplicità e sicurezza. Inventato in America verso il 1837, all'epoca in cui Wheatstone faceva funzionare i primi telegrafi ad aghi, si è sparso in seguito per tutto il mondo.

Una lamina di ferro dolce, mobile intorno ad un perno ed affacciata ad un'elettrocalamita (fig. 516); una matita fissata all'asta che serve di contrappeso alla lamina di ferro dolce, un nastro di carta che si svolge dinanzi alla punta della matita, e ne riceve la traccia quando l'armatura è attirata, ecco qual'era il telegrafo Morse nella sua semplicità primitiva. Alla matita, che si spuntava rapidamente e non segnava o segnava male, si sostituì una punta d'acciajo, la quale forniva dei segni impressi.

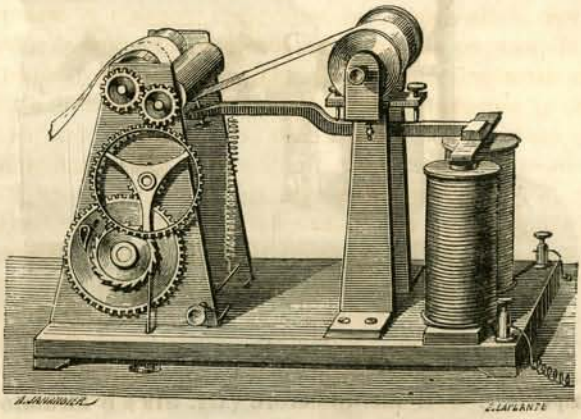


Fig. 516.

Questi segni però, spesso sono poco visibili ed esigono molta forza nell'apparecchio; vennero perciò in seguito sostituiti con segni ad inchiostro, più visibili e facili a tracciarsi.

579. Ricevitore. — La figura 517 rappresenta un ricevitore Morse, modello modificato dai signori Digney, costruttori francesi. Un roteggio d'orologeria, che nella figura non è visibile, fa girare uno dei cilindri di una spece di laminatojo *n*, nel quale passa il nastro di carta *p*, fornito dal *magazzino K*. Il meccanismo stesso fa girare su sè stessa la rotella *H*, il di cui lembo si carica continuamente di inchiostro grasso bleu, sfregandosi contro il tampone *L*. L'armatura *B B'* dell'elettromagnete *A*, è mobile intorno al punto *C*, e si piega alla sua estremità *B'*, in modo da arrivare assai vicino al nastro di carta. Al momento in cui passa la corrente, l'armatura è attirata dall'elettromagnete, la sua estremità curva solleva la carta e l'applica contro il lembo della rotella *H*; a seconda della durata

del contatto, si produce così un punto (.) od una lineetta (—). Quando la corrente cessa, l'armatura, richiamata dalla molla antagonista *D*, ritorna alla primitiva posizione.

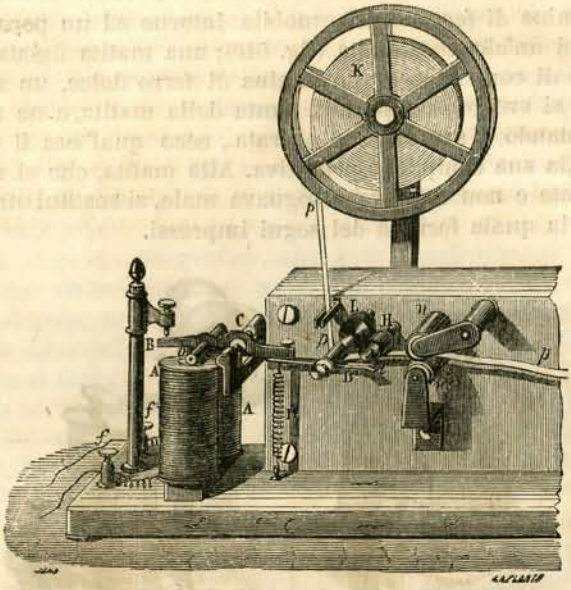


Fig. 517.

580. Manipolatore. — Il manipolarore (fig. 518) è formato da una leva di ottone, mobile intorno ad un pernio *A*, e tenuta sollevata da una molla *f*. Premendo sul bottone *K*, l'impiegato stabilisce il

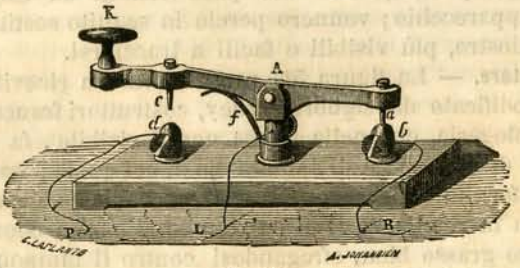


Fig. 518.

contatto fra i pezzi *c* e *d*, e lancia così la corrente, proveniente da *P*, sulla linea *L*. Quando il *martello* è sollevato, si stabilisce, alla parte anteriore, un contatto tra *a* e *b*, ed in questo caso il mani-

polatore serve a ricevere la corrente della linea, ed a lasciarla passare nel ricevitore o nel *relais*.

A seconda che l'impiegato mantiene più o meno lungamente il contatto fra *c* e *d*, si producono all'altra stazione dei punti o delle linee, dalla cui combinazione si è tirato un alfabeto convenzionale.

La figura 519 rappresenta l'apparecchio Morse in relazione col *relais R'*. È questo formato da un elettrocalamita, attraversata dalla corrente al momento della trasmissione; la sua armatura è allora attirata e questo movimento dà luogo, alla parte superiore, ad un contatto, che introduce nel ricevitore la corrente di una *pila locale*. I pezzi del ricevitore vengono posti in movimento da questa corrente, di modo che, la corrente *di linea*, potrebbe anche essere, senza

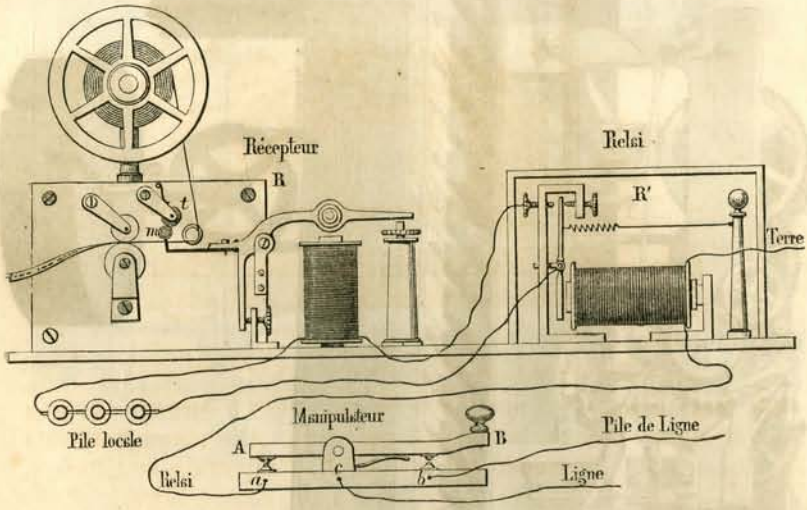


Fig. 519.

alcun inconveniente, assai debole, giacchè essa non ha da muovere che l'armatura del *relais*, la quale si può tenere assai leggera. Dalla figura stessa si scorge come il manipolatore, rimanendo sul suo contatto *a*, serve a ricevere la corrente della linea ed a trasmetterla al *relais*.

581. Telegrafo Hughes. — L'apparecchio Morse, notevole per la sua grande semplicità, non può prestarsi ad un lavoro assai rapido, giacchè esige in media tre emissioni di corrente per lettera o per segno. L'estendersi del servizio telegrafico ha provocato negli inventori la ricerca specialmente del mezzo di raggiungere una grande velocità di trasmissione. Il signor Hughes, nel 1859, fece conoscere un telegrafo che imprime una lettera ad ogni emissione di corrente e che può produrre quindi, circa, un lavoro triplo di quello che può fornire nello stesso tempo il sistema Morse. Questo importante vantaggio è però pagato con una

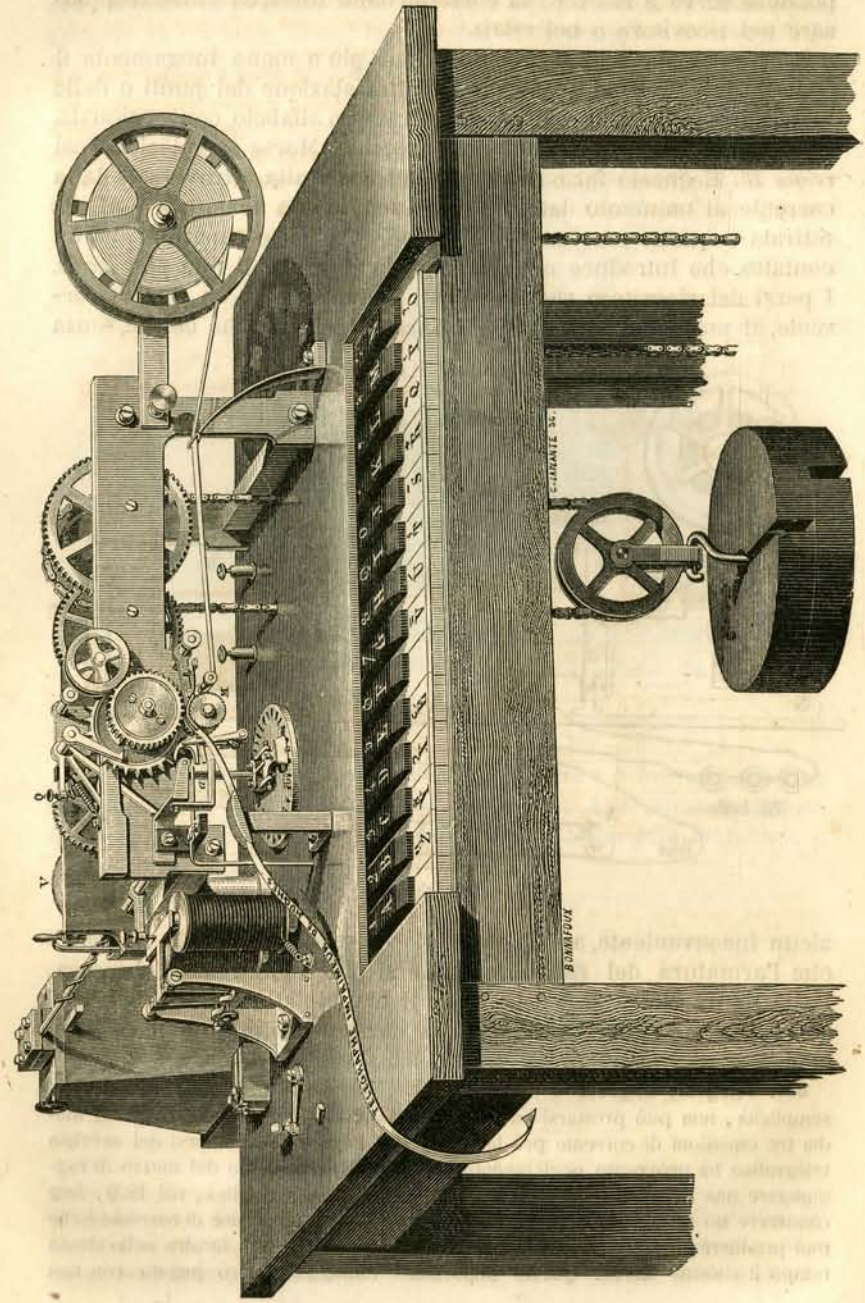


Fig. 520.

complicazione grandissima, di più, il maneggio dell'apparecchio deve essere affidato ad impiegati abili ed esercitati. Ecco qualche cenno sulle disposizioni fondamentali di questa meravigliosa macchina telegrafica.

La figura 520 rappresenta l'assieme dell'apparecchio. Esso è formato da un potente meccanismo d'orologeria, il di cui peso motore giunge sino ai 50 o 60 chilogrammi, ed è regolato da una lamina vibrante *l*. Un cursore mobile sulla lamina permette di modificarne la durata delle vibrazioni. Sotto l'azione del roteggio vengono posti in moto, con diverse velocità, tre alberi: 1° l'albero delle lettere o tipi, così detto perchè termina con una ruota *T*, che porta sul suo

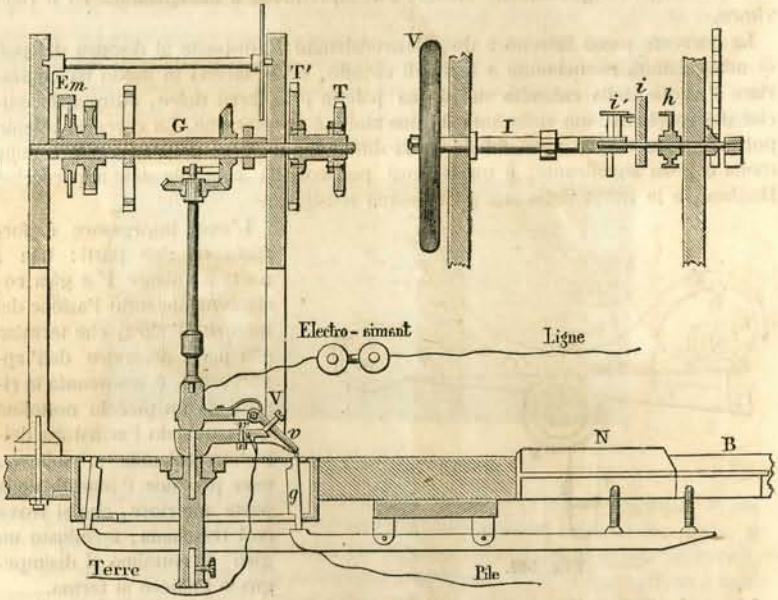


Fig. 521.

contorno, incise in rilievo, le 25 lettere dell'alfabeto, separate da un vano (*bianco*); 2° l'asse impressore od asse dei bocciuoli, la di cui velocità di rotazione è assai maggiore di quella del precedente e può giungere fino a 700 giri per minuto; questo albero termina col volante *V*. Questi due assi sono orizzontali e son rappresentati separatamente nella figura 521; 3° un asse verticale *a*, al quale l'asse dei tipi imprime una velocità uguale alla propria, per mezzo di due ruote ad angolo.

L'albero verticale è composto di due parti metalliche, isolate l'una dall'altra con un disco d'avorio; queste due parti comunicano ordinariamente l'una coll'altra per mezzo della vite *V*; però, le parti *v'* e *v* possono disgiungersi l'una dall'altra.

Il braccio formato dai pezzi *v'* e *v* dicesi carretto; esso gira coll'albero *a* sopra un disco *D*, che porta tanti fori quante lettere o segni vi sono sulla ruota dei tipi. Questi fori son disposti a circonferenza intorno al piede dell'albero, ed è precisamente su di essi che scorre l'estremità del carretto. In queste aperture son

disposte delle asticine metalliche od aghi g, che vengono a sporgere di una piccola parte sopra il disco, quando si tocchi sui tasti corrispondenti B e N, di una tastiera simile a quella di un pianoforte. Quando il carretto passa al disopra di uno degli aghi sollevati, l' estremità del braccio vien leggermente sollevata, e v' si trova isolato da v. In causa di queste disposizioni, la corrente della pila, che giungeva all'ago e di là si perdeva nella terra, passa invece per v, di qui all' elettro-magnete dell'apparecchio e da questa sulla linea. Ecco in cosa consiste la *manipolazione*. Vediamo ora come, coll'emissione di questa corrente, una certa lettera (la stessa spedita) venga impressa dalla ruota dei tipi nei due apparecchi, i quali sono del resto completamente identici e comprendono il manipolatore ed il ricevitore.

La corrente passa intorno a due elettrocalamite E, disposte al disopra dei poli di una calamita permanente a ferro di cavallo, ed è diretta in modo da contrariare l'azione della calamita su di una paletta p in ferro dolce, attirata dai nuclei dei rocchetti, ma sollecitata da una molla a spostarsene. La corrente agente potrà dunque essere assai debole, se la differenza di forza della magnete e della molla è poco significante; è questa una particolarità originale dell' apparecchio Hughes, e la causa della sua grandissima sensibilità.

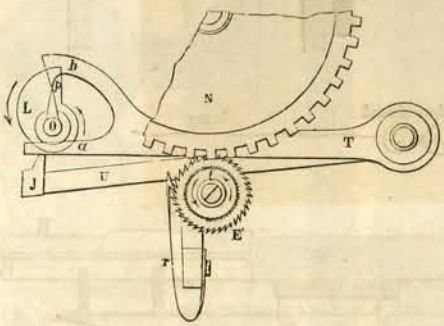


Fig. 522.

L'asse impressore è formato da due parti: una I porta il volante V e gira costantemente sotto l'azione del motore; l' altra, che termina alla parte anteriore dell' apparecchio, è mantenuta in riposo da un piccolo nottolino i, i'; quando l'armatura dell' elettrocalamita si solleva, essa produce l' innesto della parte anteriore, che si trova così trascinata; terminato un giro, il nottolino si disimpegna e l'albero si ferma.

L'asse I, porta, alla sua estremità anteriore, posta sotto la ruota dei tipi, un bocciuolo p (fig. 522) stretto ed acuto, il quale solleva rapidamente la leva $a\,b$, mobile intorno ad un punto fisso della sua estremità T, spinge la carta contro la ruota dei tipi; la lettera che vi passa resta così che stampata. Per cogliere così di volo una lettera sopra una ruota che non si ferma, è necessaria un'operazione assai rapida; è per tal motivo che la molla dell'elettrocalamita la si tiene di molta forza e il bocciuolo lo si fa assai acuto. Il movimento della leva che produce la impressione, solleva il pezzo $J\,U$ munito di una molla r, la di cui estremità scivola contro i denti di una ruota E, la fa girare col suo moto discendente, e produce uno spostamento della carta, corrispondente allo spazio fra due lettere. Lo spazio fra le parole si ottiene mediante il bianco della ruota dei tipi.

La ruota dei tipi deve potersi facilmente spostare, onde permettere la correzione degli errori e ristabilire la concordanza col carretto, quando questa sia disturbata; perciò, l'asse G è cavo, e la solidarietà colla parte interna è dovuta all'azione del nottolino m. Questa solidarietà è stabilita per mezzo di una corrente che arriva in un senso o nell'altro e che si mantiene indefinitamente. Se si preme sul pezzo Q (fig. 520), il nottolino m vien sollevato da E, la solidarietà cessa e,

per l'azione di un ago che va ad insinuarsi in una corrispondente tacca, la ruota dei tipi si ferma; questa fermata corrisponde al bianco. L'innesto si può poi produrre a mano.

Finalmente, l'asse *I* porta un terzo bocciuolo che, a ciascuna rivoluzione dell'asse stesso, passa fra i denti di una ruota *T'* a larghi denti, fissata sullo stesso asse della ruota dei tipi, e fa avanzare o retrocedere questa ruota senza interrompere il legame col roteggio motore; i piccoli spostamenti che si potessero verificare fra il carretto e la ruota dei tipi, vengono così corretti ogni volta che si stampa una lettera.

Dalla descrizione fatta si intende che, la ruota dei tipi essendo in riposo, col bianco verso la carta, se si produce un'emissione di corrente, l'innesto nell'albero dei tipi avrà luogo immediatamente e la carta sarà portata contro il bianco. Alle emissioni seguenti verranno stampate le lettere corrispondenti ai tasti toccati. Lo stesso accadrà nell'apparecchio che si trova all'estremo della linea, se le ruote, che incominciano a muoversi al medesimo momento, camminano esattamente d'accordo. Gli è appunto su questa concordanza che è in fatto fondato

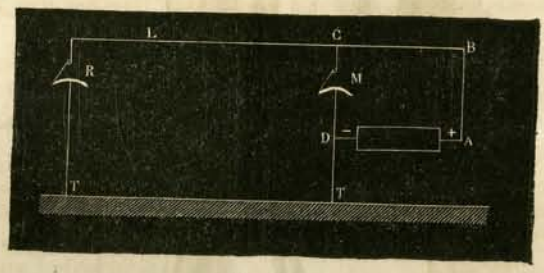


Fig. 513.

l'apparecchio Hughes, concordanza che si può stabilire in modo rigoroso. Si comincia perciò dall'assicurarsi che, agendo successivamente sullo stesso tasto, si invia la stessa lettera, A, per esempio. Se all'arrivo si stampano lettere differenti, ciò indica che i meccanismi non si trovano in accordo. Si fa allora variare il contrappeso della lamina vibrante, finchè l'accordo sia stabilito. Ciò fatto, le ruote dei tipi vengono, dal meccanismo indicato, ricondotte al bianco e gli apparecchi son pronti per funzionare.

582. Telegrafi elettrochimici. — Si imagini un cilindro metallico in comunicazione permanente colla terra, lo si supponga in movimento e trascinante alla sua superfice un nastro di carta imbevuta di fresco con una soluzione di cianuro ferroso potassico. Si supponga inoltre che una punta d'acciajo assai leggera, in comunicazione colla linea, appoggi costantemente sulla carta. Ogni volta che la corrente verrà lanciata nella linea, si avrà una reazione chimica in contatto della punta di acciajo e del foglio di carta, formazione di bleu di Prussia, produzione di un tratto bleu più o meno lungo, a seconda della durata della corrente. Tale è il principio del telegrafo elettrochimico del signor Bain; i segnali ed il manipolatore sono gli stessi dell'apparecchio Morse. Bisogna che la carta non sia troppo umida, ciò che darebbe origine all'espansione dei segni ed a dispacci indecifrabili; non deve nemmeno esser troppo secca, giacchè allora la decomposizione chimica non avrebbe luogo.

583. Telegrafo autografico di Caselli. — La carta chimica del signor Bain viene

utilizzata nel telegrafo di Caselli, il quale trasmette un facsimile del dispaccio scritto dal mittente. Ecco il principio di questo curioso apparecchio. Alla stazione di partenza si pone, su di una superfice cilindrica *M* (fig. 525), un foglio di carta metallizzata, sulla quale è scritto il dispaccio con inchiostro grasso; alla stazione d'arrivo, e sopra una superfice simile *R*, è disposto un foglio di carta impregnato

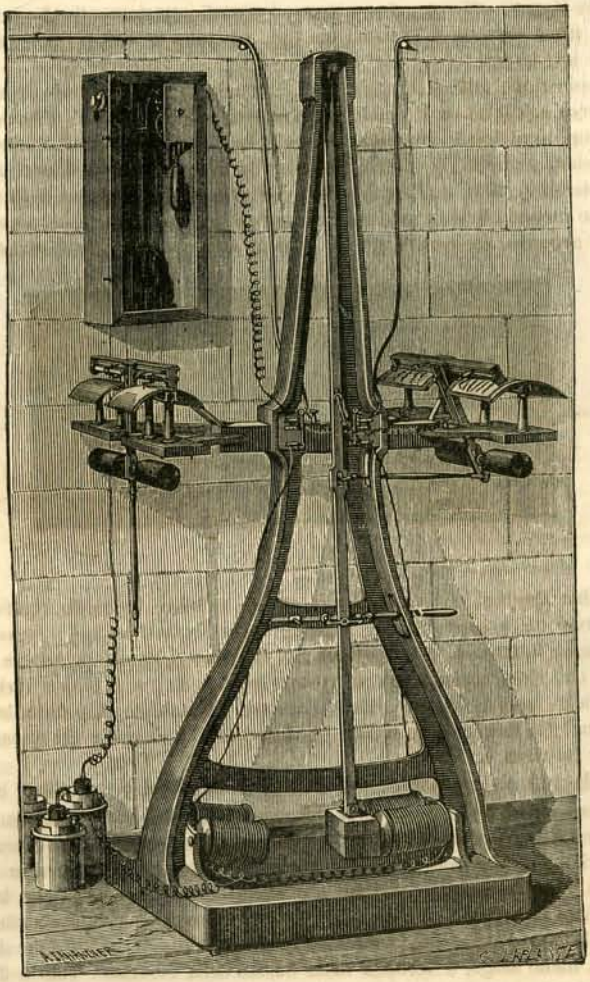


Fig. 521.

di cianuro ferroso potassico. Due stili, messi in movimento da pendoli che oscillano con sincronismo rigoroso, si appoggiano sui due fogli e vi descrivono dei tratti paralleli, equidistanti, assai vicini l'uno all' altro; questi stili sono in comunicazione permanente col filo di linea. La corrente della stazione di partenza è fornita dalla

pila *P*. Quando lo stilo si trova su di una parte conduttrice della carta *M*, la corrente circola intieramente nella parte *A B C D* e non va punto sulla linea, la di cui resistenza è, senza confronto, più notevole. All' opposto, quando lo stilo appoggia sull'inchiostro grasso che forma i tratti del dispaccio, il circuito *A B C D*, è rotto in *M*, e la corrente si slancia sulla linea. In questo momento lo stilo del foglio *R* si trova esattamente al punto corrispondente del foglio *M*, in causa del sincronismo dei pendoli; vi si formerà un tratto bleu, riproduzione esatta del tratto del dispaccio attraversato dallo stilo. Quando, dunque, lo stilo *M* avrà descritto una serie di linee vicine così da ricoprirne il foglio, in *R* si saranno prodotti una serie di punti o di tratti, il cui assieme costituisce la riproduzione del dispaccio. La punta tracciante è portata da una leva, mobile intorno ad un' asse che passa a piccola distanza dal suo estremo inferiore; a questa estremità si articola una leva, articolata a sua volta al pendolo (fig. 524). Ad ogni oscillazione completa del pendolo, la punta tracciante descrive una linea da sinistra a destra; all'estremità della corsa, il corsojo che porta la punta, va ad urtare un pezzo; questo urto fa girare il sistema di una piccola quantità attorno ad una vite; la punta vien sollevata durante il movimento di ritorno e non ricade che all'origine

Fig. 525.

Fig. 526.

di una seconda linea, la quale vien così segnata a piccola distanza dalla prima. Il sincronismo dei pendoli è la condizione necessaria al funzionamento dell'apparecchio e lo si ottiene col mezzo di due orologi, che vengono regolati separatamente ad un dato andamento, e le di cui oscillazioni durano metà del tempo misurato da quelle del pendolo telegrafico. La parte inferiore di questo è formata da una massa di ferro, da una banda e dall'altra della quale, si trova un elettrocalamita, che puossi animare colla corrente di una pila locale. Quando il pendolo oscilla verso la sinistra, il circuito si chiude da questa parte, e la massa terminale viene attirata; ma il pendolo dell' orologio viene a sua volta a rompere il circuito; il pendolo si muove allora in senso contrario, ed all' estremo della sua escursione prova gli stessi effetti già sentiti nel suo movimento in senso opposto.

Si capisce che col telegrafo Caselli si può spedire, non solamente la scrittura, ma un disegno qualunque; da qui il nome di *pantelegrafo* dato a questo apparecchio. La figura 525 rappresenta un dispaccio ottenuto sulla carta imbevuta di cianuro; la figura 526 è un duplicato della prima, dato da una foglia di stagno, che ordinariamente si pone al disotto del foglio di carta; al momento del passaggio della corrente, l' umidità della carta vien decomposta; di contro ai punti pei quali è passata la corrente, l' idrogeno riduce l' ossido di stagno, che

sempre si trova in piccola quantità alla superfice della foglia di stagno. Trattata allora questa con un miscuglio di acido azotico e di acido pirogallico, i tratti appajono in nero.

584. Telegrafo Meyer. — Nel telegrafo Meyer, il dispaccio, scritto come pel telegrafo Caselli, viene avvolto su di un cilindro, sulla di cui superfice uno stilo metallico descrive una spirale a giri assai prossimi; questo movimento è prodotto da un motore regolarizzato da una lamina vibrante, come nel telegrafo Hughes. Ogni volta che lo stilo attraversa un tratto del dispaccio, la corrente vien interrotta nella linea. Alla stazione ricevente si trova un cilindro simile al primo, ed animato da un movimento di rotazione identico a quello della stazione di partenza. Su questo cilindro è disposto un giro d'elica sporgente, che ne occupa tutta la lunghezza; ne segue che, durante una rivoluzione, i differenti punti d questa elica occupano successivamente tutte le posizioni possibili sulla generatrice inferiore. Ora, mentre che lo stilo traccia un giro, interrompe successivamente la corrente tante volte, quante esso taglia i tratti del dispaccio; a ciascuna di queste interruzioni una carta, posta sotto al cilindro alla stazione ricevente, vien sollevata dall'azione di una paletta e riceve un'impressione con inchiostro grasso ordinario, mantenuto continuamente sulla superfice del filetto d'elica. Sulla larghezza della carta si troverà dunque una linea formata da una serie di tratti riproducenti quelli che furono attraversati dallo stilo tracciante. Ma la carta si sposta sotto il cilindro; ad una prima linea di tratti ne seguirà una seconda, e così di seguito; la sovrapposizione di queste diverse linee fornirà dunque un dispaccio in inchiostro grasso, il quale sarà il facsimile esatto del dispaccio di partenza, se il passo dell'elica stampante, ha la stessa lunghezza del cilindro trasmettitore.

585. Telegrafia sottomarina. — La telegrafia sottomarina sembra sia definitivamente stabilita, dopo numerose e lunghe prove. La prima fune, posta dal signor Brette tra Douvre e Calais, il 28 agosto 1850, non esistì che qualche ora; le due funi transatlantiche, gettate nel 1866, sembra non abbiano finora subite serie avarie.

Fig. 527.

Le difficoltà che si riscontrano nello stabilire le linee sottomarine sono assai varie; una delle più importanti si riferisce alla fabbricazione di funi abbastanza resistenti ed isolate. Le funi sono oggigiorno generalmente formate da fili di rame, in maggiore o minore numero (fig. 527), rivestiti di gutta percha, circondate esse stesse da canape imbevuto di goudron; all'esterno la massa è protetta da fili di ferro, leggermente torti a guisa dei trefoli esterni di una fune ordinaria. Il canapo transatlantico è formato da un conduttore centrale, composto da sette fili di rame riuniti a funicella, e ricoperti di gutta percha; il tutto forma un cilindro di 15 millimetri di diametro. Un secondo inviluppo è costituito da cinque funi di canape

imbevute con una composizione di $^5/_{12}$ di goudron di Stocolma, $^5/_{12}$ di pece, $^1/_{12}$ di olio di lino, ed $^1/_{12}$ di cera; finalmente il tutto è protetto da diciotto trefoli di ferro, formati ciascuno con 7 fili del diametro di $^7/_{10}$ di millimetro. Uscendo dalla macchina che l'aveva coperto della sua armatura di ferro, il canapo venne fatto passare in una caldaja contenente un miscuglio a caldo di pece, di goudron e di olio di lino.

Una seconda difficoltà deriva dall'azione induttrice dell'aqua circostante; questo effetto, già manifesto per le linee sotterranee di mediocre estensione, assume un considerevole sviluppo nelle linee sottomarine. La fune forma come un esteso condensatore di cui il conduttore centrale forma l'armatura interna e l'aqua del mare, l'armatura esterna. Nel canapo transatlantico, il rallentamento che ne risulta è tanto notevole, che gli ordinari mezzi di trasmissione riescono impraticabili ed arrivano difficilmente ad una velocità di trasmissione di $^1/_5$ di quella delle linee terrestri. Tra due segnali consecutivi, il filo dev'essere scaricato; lo si pone perciò in comunicazione col suolo o, meglio, coll'altro polo della pila; si ha così un effetto inverso che distrugge rapidamente il primo, ed il filo è reso libero per una seconda trasmissione.

Il ricevitore impiegato deve essere di grande sensibilità; si usa il galvanometro di Tompson. In questo apparecchio, ciascun ago è munito di un moltiplicatore speciale; uno degli aghi è unito con mastice alla parte posteriore di uno specchietto leggermente concavo, sostenuto con un filo di cotone. Sullo specchio si fa cadere la luce che giunge attraverso ad una fessura di una lampada; si ottiene così un'immagine capovolta, su di uno schermo posto al centro di curvatura dello specchio e vicino alla fessura stessa. La combinazione di queste deviazioni in un senso e nell'altro costituisce un'alfabeto telegrafico, analogo a quello del telegrafo inglese ad aghi.

586. Macchine elettromotrici. — Le macchine elettrometrici son fondate sulla magnetizzazione temporaria assunta da un pezzo di ferro, sotto l'azione di una corrente. Questa magnetizzazione potendo distruggersi o cambiar di senso con rapidità, si capisce come si possa, lanciando successivamente una corrente in un circuito, imprimere ad un'armatura dei movimenti alternativi, i quali possonsi in seguito trasformare, cogli ordinari processi della meccanica. Dal 1834, epoca alla quale Jacobi, di Pietroburgo, costruì il primo elettromotore, molti tentativi vennero fatti a questo soggetto; ma nessuno ha condotto ad alcuna applicazione industriale. Le ragioni di questo insuccesso sono diverse e non è qui il caso di discorrerne. Basti solo il dire, che il prezzo del lavoro fornito dalle migliori macchine elettromotrici è circa 30 volte più elevato di quello fornito dalle macchine a vapore. Però, se al presente l'elettricità non fornisce un mezzo economico di produrre forza, essa presenta il meraviglioso vantaggio di poter trasportare quasi istantaneamente la forza a prodigiose distanze; è appunto questo il principio dei telegrafi. Ecco intanto un cenno su di una macchina elettromotrice a rotazione diretta.

587. Motore di Froment. — Il motore di Froment è costituito da una ruota (fig. 528), che porta sulla sua circonferenza otto armature di ferro dolce le quali, durante il movimento, vengono a passare davanti a quattro elettrocalamite, fissate sopra un castello in ghisa.

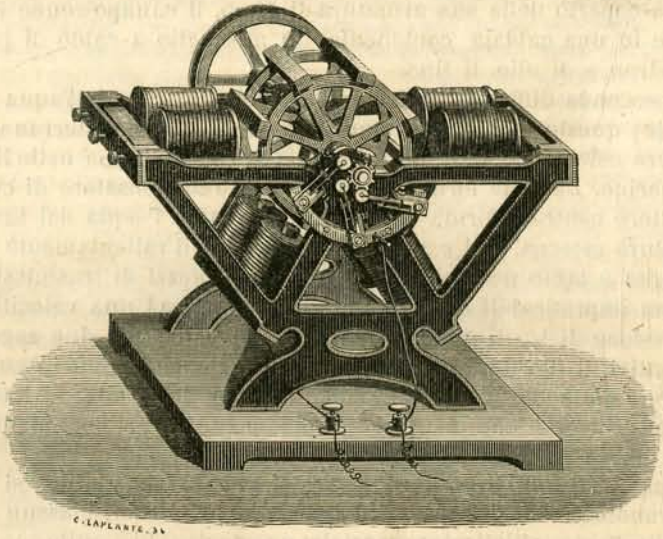


Fig. 528.

Se si suppone che una delle armature si trovi a piccola distanza da un'elettro-calamita, e che si faccia passare la corrente, si ha attrazione ed il moto comincia. Quando l'armatura giunge di contro alla elettro-magnete attirante, la corrente cessa, ma il movimento continua in causa della velocità aquisita. L'armatura sorpassa la metà dell'intervallo che la separa dall'elettro-calamita seguente; allora la corrente passa in quest'ultima e, così continuando, si produce una serie di impulsioni che mantengono in movimento la ruota. Essendonvi otto armature, quattro di esse si troveranno sempre nella posizione conveniente per ricevere le impulsioni delle elettro-calamite.

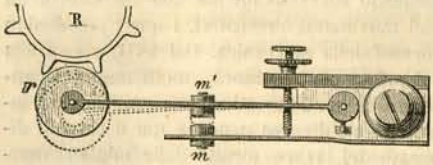


Fig. 529.

Ecco come ha luogo la distribuzione della corrente elettrica. Questa giunge ad un arco metallico fisso, sul quale son stabilite tre lamine, in comunicazione continua con uno degli estremi del filo delle elettro-calamite; l'altro estremo comunica coll'altro polo della pila. Queste lamine non sono in comunicazione elettrica coll'arco, la comunicazione è stabilita dai contatti m ed m' (fig. 529), che vengono a porsi l'uno sull'altro al momento in cui uno dei bocciuoli della ruota R abbassa il galletto r; la corrente passa allora nelle elici. Dei tre distributori, uno è destinato alle elettro-

magneti orizzontali, le quali funzionano simultaneamente; gli altri due, a ciascuna delle due elettro-calamite inferiori. Il funzionamento della ruota a bocciuoli accade in modo, che la corrente non cessa in un elettro-magnete prima di esser passata in un'altra; si evita così, almeno in parte, la scintilla d'induzione, che si produce quando, come lo si vedrà in seguito, si apre un circuito, e che ha l'inconveniente, ossidando i contatti, di produrre delle irregolarità nell'andamento dell'apparecchio.

CAPITOLO XIV.

EFFETTI CALORIFICI DELLA CORRENTE. — LUCE ELETTRICA.

588. Riscaldamento dei fili metallici col passaggio della corrente. — Si è visto (497) come la scarica di una forte giara, o di una batteria elettrica, attraverso ad un filo metallico, ne produce il riscaldamento, ed anche, a seconda delle circostanze, l'arroventamento, la fusione, o la volatilizzazione. Una scarica elettrica, in sostanza,

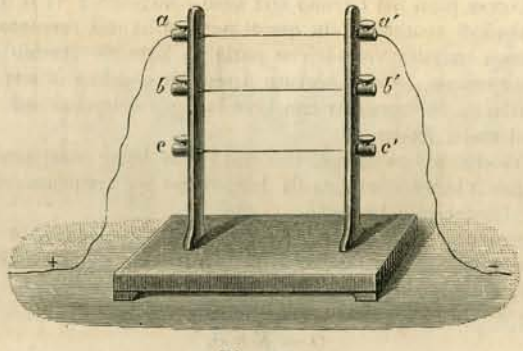


Fig. 530.

è una spece di corrente, ed è quindi naturale di supporre che una corrente, circolando in un filo, possa dar luogo a fenomeni analoghi: gli è appunto uno dei fatti che vennero osservati poco dopo la scoperta della pila. A produrre tali fenomeni non occorre una corrente di notevole energia; un solo elemento di Wollaston di 1 dec. quadrato di superfice, basta per fondere dei sottili fili di platino della lunghezza di alcuni centimetri. Gli è più alla superfice delle coppie che non al loro numero, come si è detto (554), che si deve il successo nelle esperienze di questa natura. Con 50 dei grandi elementi Bunsen, di cui si fa continuamente uso nei gabinetti di fisica, si possono ottenere i più brillanti effetti.

In queste esperienze riesce comodo l'uso del seguente apparecchio (fig. 530). Due colonne metalliche, montate su di una tavoletta, presentano, a diverse altezze, delle coppie di bottoni conduttori *a a'*, *b b'*, tra i quali si possono tendere i fili, ed introdurli nel circuito della pila. Onde la corrente non attraversi che il filo sul quale si vuol esperimentare, i bottoni metallici vengono introdotti in montature che li isolano dalle colonne.

Quando si fa passare una corrente energica in un filo abbastanza lungo e ben teso, si vede dapprima il filo allungarsi e formare, a causa del suo peso, *catena*, in modo più o meno pronunciato. In seguito si arroventa, fonde prima alla parte superficiale, se è abbastanza grosso, dei globoli liquidi corrono pel suo lungo, cadono e si infiammano, se il metallo è combustibile. Se ad uno dei reofori si attacca una lima di acciajo se ne ottiene uno sprazzo assai brillante.

589. Legge del riscaldamen'o di un filo omogeneo. — L'elevazione di temperatura di un filo attraversato dalla corrente aumenta, a parità di condizioni, colla resistenza opposta da questo filo al movimento elettrico; così, questo elevamento riesce maggiore con un filo di platino che con uno di rame, maggiore con un filo sottile che con uno grosso.

Quando le diverse parti del circuito non sono omogenee e vi si trovano come delle semisoluzioni di continuità, in questi punti si ha una resistenza locale che può riescire assai considerevole e che porta un forte elevamento di temperatura. Così, per esempio, se si fa toccare il reoforo negativo di una pila Bunsen con uno dei carboni, si manifesta una viva luce e l'estremità del reoforo può arroventarsi, ed anche fondersi.

Nel caso di conduttori omogenei, si è trovata la legge assai semplice del riscaldamento. Questa legge, enunciata da Jule, venne poi verificata con molta cura dai signori Ed. Becquerel e Lenz.

Quando una corrente attraversa un filo metallico omogeneo, la quantità di calore sviluppata in un dato tempo, è proporzionale alla resistenza del filo ed al quadrato dell'intensità della corrente.

Questa legge è espressa dalla formola

$$Q = K\, r\, i^2,$$

dove, Q è la quantità di calore, r la resistenza del filo, i l'intensità della corrente e K una costante.

590. Conversione del calore in lavoro. — In queste esperienze si ha una conferma della teoria che considera il calore come una forma speciale di lavoro. Il signori Favre avendo disposto una pila di cinque elementi di Smée nella muffola di un calorimetro, ne pose il circuito in comunicazione con un elettro-magnete, posta in un secondo calorimetro; i fili esterni erano abbastanza grossi da poterne trascurare la resistenza. L'elettro-magnete era poi in condizione di muovere un piccolo motore, il quale, per mezzo di puleggie poste all'esterno, sollevava un dato peso.

Con queste disposizioni, se si fa circolare la corrente nell'elettro-magnete senza che il motore funzioni, si trova una quantità totale di calore precisamente uguale a quella che risulta dal lavoro chimico della pila; stabilite invece le comunicazioni in modo che il peso venga sollevato, la quantità di calore comunicata al calorimetro riesce sensibilmente minore. Sia Q questa differenza, espressa in ca-

lorie, T il lavoro esterno, direttamente misurabile, espresso in chilogrammi; il quozione $\frac{T}{Q}$ esprimerà l'equivalente meccanico del calore (402). Il signor Favre ha, in questo modo, trovato per l'equivalente, 444 chilogrammetri, numero poco diverso da quello già indicato (425 chilogrammetri) risultante dall'esperienza diretta del signor Jule.

591. Luce elettrica. — Quando si facciano terminare i reofori di una forte pila con due coni formati da un carbone conduttore, come il coke, il carbone calcinato, il carbone di storta, e le si avvicinano fino al contatto, si produce uno sprazzo luminoso di una intensità abbagliante (fig. 531). Una volta stabilito il contatto, si possono allontanare l'uno dall'altro i carboni ad una distanza più o meno grande, a seconda dell'intensità della corrente, e che può

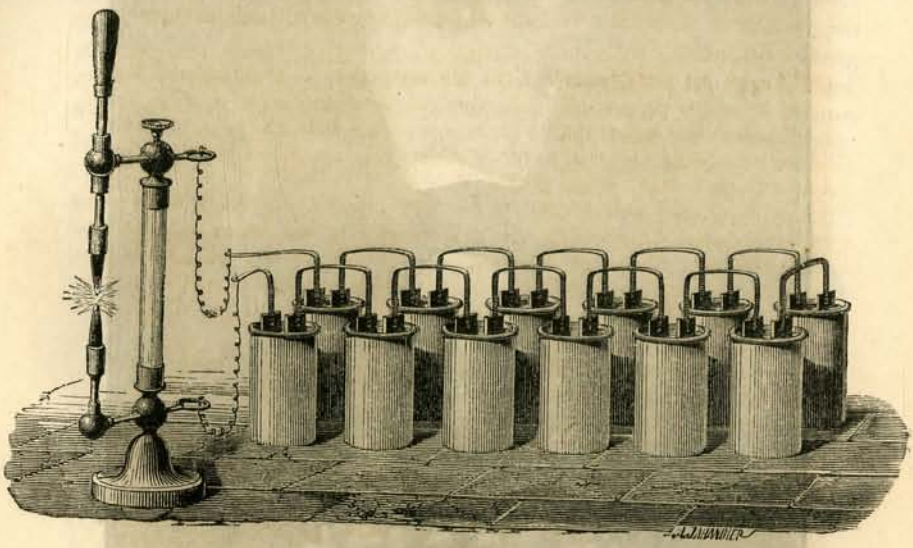


Fig. 531.

giungere fino a 10 o 12 centimetri. Lo spazio che separa le due punte rimane occupato da un arco luminoso, del quale lo splendore e la temperatura sorpassano tutto quanto si può ottenere coi mezzi usuali; a questo arco si dà il nome di *arco voltaico*. Questa brillante esperienza venne per la prima volta eseguita, al principio di questo secolo, da Humphry-Davy, con una pila di 3000 coppie. L'arco voltaico non deve confondersi colla serie di scintille che si otterrebbero avvicinando l'uno all'altro due corpi caricati, uno di elettricità positiva l'altro di negativa; è invece un vero circuito conduttore, formato da parti volatilizzate, trasportate da un polo all'altro, e facenti parti del circuito collo stesso titolo di un filo metallico arroventato dalla corrente.

Questo trasporto di particelle riesce assai distinto nei carboni e, projettando l'immagine di questi sopra uno schermo, si può render visibile il fenomeno ad un gran numero di spettatori. Per ottenere questa projezione, basta disporre l'arco voltaico in una cassetta chiusa, la quale presenti, in una delle sue pareti, un'apertura mu-

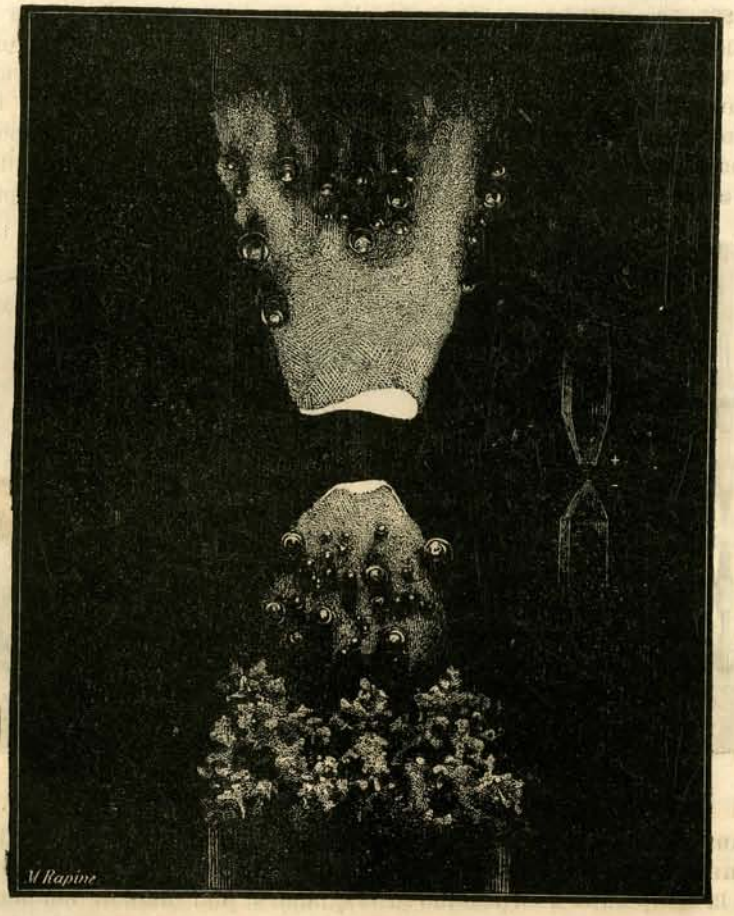


Fig. 532.

nita di una lente. La figura 532 mostra l'immagine ottenuta operando in questo modo. Seguendo per qualche tempo l'esperienza, si possono direttamente scorgere le particelle di carbone incandescente attraversanti la lunghezza dell'arco, ora in un senso, ora in un altro; più spesso però nel senso stesso della corrente. Questa circostanza spiega la diversa forma dei due carboni. Il carbone

positivo si scava, in conseguenza della perdita di materia provata, mentre il carbone negativo sembra accrescersi. Operando nel vuoto, il fenomeno è assai più distinto; una specie di cono si ammassa sul carbone negativo, mentre che il carbone positivo si scava, affettando la forma della materia trasportata al polo opposto; queste apparenze non riescono così distinte quando si opera nell'aria, in causa della combustione del carbone. L'arco voltaico fornisce la sorgente di calore più intensa che si conosca. Despretz, in esperienze rimaste classiche, ha potuto fondere e volatilizzare delle sostanze, ritenute fino allora affatto refrattarie; anche il carbone si è rammolito ed ha dato delle traccie non equivoche di fusione.

L'arco voltaico essendo costituito dalla corrente stessa, deve naturalmente esser sensibile all'azione delle magneti; questa previsione, così semplice al giorno d'oggi, poteva passare per una congettura ben ardita, prima della scoperta dell'elettro-magnetismo; ciò non ostante essa venne emessa da Arago, il quale si fondava sull'analogia tra l'arco voltaico e l'aurora boreale. Siccome da molto tempo si sapeva che quest'ultimo fenomeno esercita una significante perturbazione sugli aghi magnetici, Arago suppose che doveva esistere una azione tra le calamite e l'arco voltaico; ciò che infatti venne verificato coll'esperienza. Oggigiorno, potendonsi usare per questa esperienza i potenti elettro-calamite, il fenomeno riesce molto nettamente. Il signor Quet, col mezzo di una fortissima elettro-magnete, i di cui poli erano posti da una banda e dall'altra ad ugual distanza della linea che congiunge i carboni, potè respingere l'arco e curvarlo a mo' del dardo di un cannello ferruminatorio, come lo mostra la figura 533.

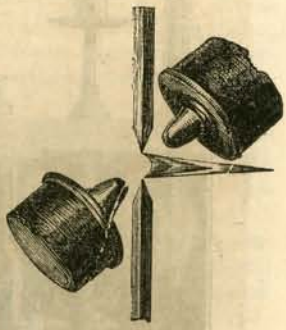


Fig. 533.

592. Luce dell'arco voltaico. — La luce dell'arco voltaico ha uno splendore abbagliante, e da molto tempo si tenta di utilizzarla. L'insuccesso di questi tentativi non devesi solamente all'inferiorità economica di questo modo di illuminazione, ma anche alle dannose proprietà della luce elettrica stessa; questa, infatti, possiede un carattere di acutezza che ferisce l'organo della vista e può anche dar luogo ad accidenti nevralgici più o meno gravi. Di più, il suo potere rischiarante non è in relazione col suo splendore, *essa brilla più che non illumini*, ed è poi sopratutto difficile da suddividersi e non aquista veramente un'intensità sufficiente che allorquando è già troppo viva. V'è un'applicazione però nella quale

questi difetti non hanno alcuna influenza e la luce elettrica vi trova un impiego appropriato alle sue qualità; è la applicazione che se ne fa all'illuminazione dei fari. Qui infatti la luce non ha bisogno di rischiarare, essa deve solamente esser *vista*, e, sotto questo rapporto la luce elettrica sembra godere, nei tempi nebbiosi, di una facoltà penetrativa superiore a quella della luce delle lampade ad olio.

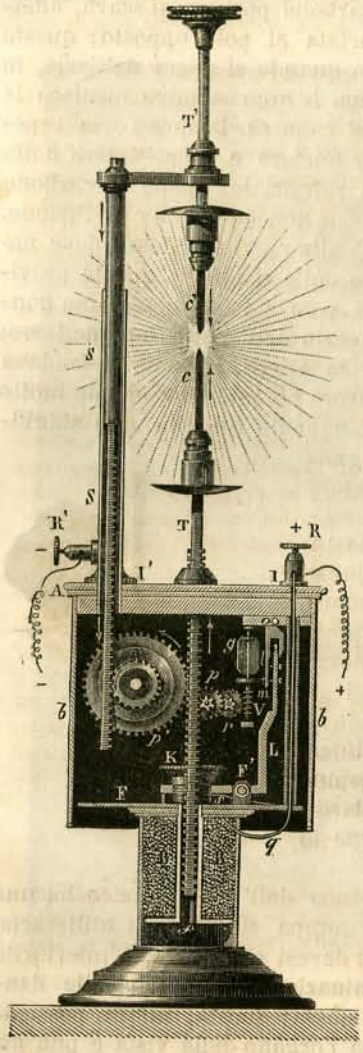


Fig. 531.

Fuori di questa applicazione, si utilizza la luce elettrica nei corsi per sostituire la luce solare nelle esperienze di projezione; se ne fa un grande uso nei teatri per la produzione di effetti di luce assai diversi; la si è pure, qualche volta, impiegata con successo a rischiarare i lavori eseguiti di nottetempo. Siccome i carboni si consumano colla loro combustione, si deve, in questi diversi casi, far uso di apparecchi regolatori, destinati a mantenere i carboni ad una distanza conveniente, on le impartire alla sorgente luminosa la necessaria fissità. Il principio dei numerosi regolatori oggigiorno conosciuti è sempre lo stesso; consiste nell'utilizzare le variazioni di intensità della corrente, per ricondurre i carboni polari alla opportuna distanza.

593. Regolatore di Duboscq. — Per dare un'idea di questi regolatori, descriveremo succintamente quello di Duboscq. Questo regolatore è formato (fig. 534) da un meccanismo di orologeria, animato da una molla motrice, contenuta nel tamburro *P*, e regolarizzata dal volante ad ali *g*. Sotto l'azione del meccanismo, le due dentiere *S* e *T* son messe in movimento, la prima da un pignone montato sul tamburro, l'altra da una ruota concentrica, ad ugual dentatura e di raggio doppio; per questa disposizione, la dentiera *T* si eleva e la S si abbassa;

ma la prima si muove con una velocità doppia. È questa dentiera che porta il carbone positivo c; il carbone negativo c' è fissato al pezzo T', che si muove colla dentiera S. L'esperienza ha mostrato che il consumo del carbone positivo è, a pari tempo, doppio di quello del carbone negativo; ecco il motivo delle disposizioni prese per far muovere il carbone positivo con velocità doppia dell'altro. Se però, invece che della pila, si fa uso di una delle macchine elettromagnetiche, di cui si dirà più innanzi, nelle quali la corrente cambia di senso ad ogni rivoluzione, ognuno dei carboni diventa alternativamente positivo e negativo, ed in questo caso bisognerà far muovere le due dentiere colla stessa velocità. La corrente fornita dalla pila, entra dal serrafili R, anima l'elettromagnete B B, e di qui passa alla dentiera T ed al carbone positivo c; dal carbone negativo c' si porta alla dentiera S, ed esce dal serrafili R'. Il nôcciolo in ferro dolce dell'elettrocalamita, attira un'armatura mobile K, ogni qual volta la corrente circola nel rocchello; all'armatura stessa è congiunta una leva a gomito L, mobile intorno all' asse orizzontale F'; questa leva è spinta dalla molla antagonista s, ed appoggia superiormente contro una leva più breve l, girevole intorno all'asse o. Questa piccola leva porta alla sua parte inferiore un becco in acciajo m, destinato ad arrestare una ruota dentata, posta alla parte inferiore del moderatore g.

Si supponga che, essendo posti i due carboni a distanza conveniente, si lanci la corrente nell'apparecchio; il contatto si abbassa ed il roteggio è arrestato dal becco inferiore della leva l; man mano che i carboni si consumano, la resistenza cresce sempre più e giunge un momento in cui l'intensità della corrente diventa abbastanza debole da permettere alla molla antagonista di produrre il suo effetto; il roteggio vien lasciato libero, i due carboni si avvicinano, l' intensità della corrente cresce, l'armatura è di nuovo attirata ed il meccanismo è di nuovo arrestato; ben presto rincomincia a funzionare, e così di seguito.

Una piccola leva a mano serve a fermare a volontà il movimento dell'apparecchio; di più, l'armatura è munita di un passo di vite, che permette di avvicinarla più o meno all'elettrocalamita, proporzionatamente alla forza della pila di cui si fa uso.

Il regolatore di Foucault è caratterizzato da un doppio roteggio motore, suscettibile di fare, a seconda delle circostanze, avanzare o retrocedere i carboni; in questo modo si può evitare la preparazione a mano, colla quale si dispongono i carboni alla distanza la più opportuna; si previene inoltre l'estinzione, che potrebbe esser prodotta da un'accidentale contatto dei carboni (1).

(1) La produzione economica della luce elettrica per mezzo delle macchine dinamoelettriche, la perfezione raggiunta dal regolatore Serrin, e l'omogeneità dei carboni fabbricati dal signor Gaudoin, hanno permesso, in questi ultimi tempi, di applicare la luce elettrica, vantaggiosamente e con risultati soddisfacenti, alla illuminazione delle grandiose sale degli opifici.

Tra i diversi tentativi che da molto tempo si fanno per poter applicare la luce elettrica alla illuminazione pubblica, giova citare una innovazione introdotta dal signor Jablokoff, ingegnere russo, tendente a sopprimere il regolatore. La *candela di Jablokoff*, in sostanza, è formata da uno scartoccio contenente le due verghe di carbone, disposte parallelamente l' una all' altra e circondate da materia isolante, quale vetro pesto, argilla o caolino in polvere. Il calore sviluppato dall'arco voltaico fonde e volatilizza man mano queste sostanze, come accade della materia grassa in una candela; l'arco si va abbassando, ma la distanza fra le punte rimane sempre la stessa. Oltre a ciò,

CAPITOLO XV.

EFFETTI CHIMICI DELLA CORRENTE.

594. Elettrolisi. — Quando si fa passare una corrente attraverso ad un corpo composto, questo si separa in due elementi diversi, che si mostrano alle estremità polari, vale a dire sugli elettrodi metallici pei quali la corrente entra nel corpo. Questa separazione del corpo in due elementi prende il nome di *elettrolisi;* la si considera come esenzialmente legata alla propagazione della corrente, della quale sarebbe la diretta manifestazione, cosicchè, il passaggio della corrente attraverso ad un corpo conduttore composto, senza decomposizione, riescirebbe inamissibile.

Diconsi elettroliti i corpi sottoposti alla decomposizione, e qualche volta anche gli elementi provenienti da questa decomposizione stessa. Si può prendere per tipo di questo genere di fenomeni la decomposizione dell'aqua per mezzo della pila, questa decomposizione viene effettuata in apparecchi detti *voltametri.*

Il voltametro (fig. 535) è formato da un vaso di vetro, il di cui fondo è fatto con una sostanza isolante. Due fili di platino attraversano questo fondo, e all' esterno possono esser messi in comunicazione coi reofori di una pila. Si pone dell' aqua acidulata nel vaso ed al disopra di ciascun filo si dispone una provetta piena di aqua acidulata. Facendo passare la corrente, vedonsi immediatamente formarsi e svolgersi delle bolle di gas alle due punte di platino. Dopo qualche tempo una certa quantità di gas si è raccolta nelle provette, e si può constatare che il volume di idrogeno

con questo mezzo, si può giungere, con una sola macchina dinamoelettrica, a mantenere accese varie candele.

In seguito, il signor Jablockoff immaginò un altro metodo di illuminazione elettrica, col quale, oltre alla soppressione del regolatore, si ha anche quella dei carboni. Egli ebbe l'idea di introdurre, nel circuito centrale di una macchina magnetoelettrica, il filo interno di una serie di rocchelli di induzione, e di far passare la scintilla di induzione ottenuta, sopra una lamina di caolino, posta semplicemente tra le due estremità del filo esterno di ogni rocchello. La lamina di caolino si scalda, diventa incandescente e luminosa. La luce così ottenuta è assai dolce e fissa e si possono avere intensità diverse, variabili da due a cinquanta fiamme a gas; di più, con una macchina dinamoelettrica, si possono tener vive una cinquantina di lampade.

La linea luminosa dà luogo ad un consumo del caolino, corrispondente ad un millimetro per ora; epperò, una lamina di caolino di opportune dimensioni, può servire per un'intiera notte.

NOTA DEL TRADUTTORE.

è pressochè doppio di quello dell' ossigeno. Si osservi che questa esperienza non riesce che con aqua resa conduttrice con una piccola quantità di acido; l'aqua pura ha un potere conduttore tanto debole, da rendere la sua elettrolizzazione estremamente difficile.

595. Trasporto degli elementi. — Gli elementi messi in libertà dall'elettrolizzazione appaiono solamente sulle estremità polari e non mai sui punti intermediari; questa circostanza si spiega facilmente, ammettendo che la corrente produce, insieme alla decomposizione, il trasporto degli elementi separati. Gli uni, come l'idrogeno ed i metalli, seguono il cammino dell'elettricità positiva e si dicono elementi *elettropositivi*; gli altri seguono il cammino dell'elettricità negativa e diconsi *elettronegativi*.

Dietro ciò, si consideri una fila di molecole d'aqua, per esempio,

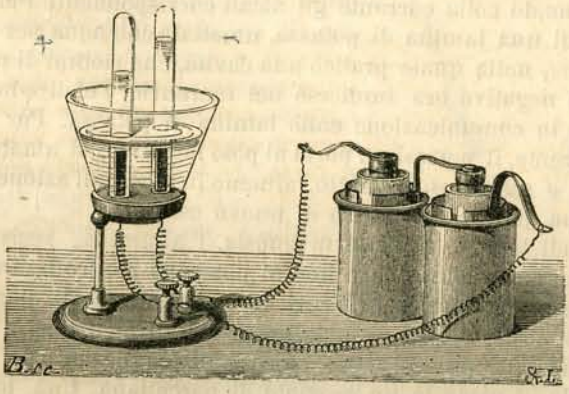


Fig. 535.

situate tra i due elettrodi, uno positivo situato a sinistra della figura 536, l'altro negativo posto alla destra.

Sotto l'azione della corrente tutte le molecole vengon decomposte e si produce una doppia corrente, una di idrogeno verso la destra della figura, l'altra di ossigeno verso la sinistra. In causa di questo movimento, si ha, fra gli elettrodi, uno scontro continuo di

Doppia corrente

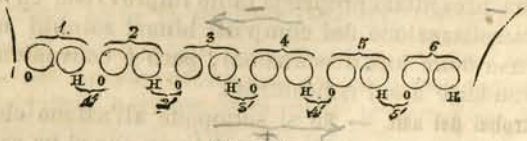


Fig. 536.

molecole di idrogeno e di ossigeno, ed una ricostituzione, pure continua di aqua. Così, l'idrogeno della molecola 1 si combina coll'ossigeno della molecola 2 per formare una nuova molecola 1': l'i-

drogeno della molecola 2 si combina coll'ossigeno della molecola 3, per formare la nuova molecola 2', ecc. All'elettrodo positivo si sviluppa l'ossigeno della molecola 1, all'elettrodo negativo si svolge l'idrogeno della molecola 6. Si forma così la nuova fila di molecole 1', 2', 3', ecc. che subisce il medesimo fenomeno di elettrolisi, e così di seguito. Questa teoria dell'elettrolisi è dovuta al fisico Grothuss.

596. Elettrolisi dei composti binari. — Quando si sottopone all'elettrolisi un composto binario, del quale uno degli elementi è metallico, il metallo si porta sempre al polo negativo, vale a dire che esso è sempre elettro-positivo. Questa osservazione ha permesso di applicare l'elettrolisi alla preparazione di un certo numero di metalli: gli è in questo modo che Davy ottenne i metalli alcalini, decomponendo colla corrente gli alcali corrispondenti. Pel potassio fece uso di una lamina di potassa, umettata con aqua per renderla conduttrice, nella quale praticò una cavità, che riempì di mercurio. Il reoforo negativo era immerso nel mercurio, l'elettrodo positivo era posto in comunicazione colla lamina di potassa. Per l'effetto della corrente, il potassio si porta al polo negativo, si amalgama col mercurio e resta così sottratto, almeno in parte, all'azione dell'aria e dell'aqua, che lo avrebbero di nuovo ossidato.

Gli ossidi terrosi, quali la magnesia, l'allumina, resistono più della potassa e della soda e non si poterono elettrolizzare; si son però potuti decomporre i cloruri di alluminio e di magnesio, e preparare così i rispettivi metalli per via di elettrolisi.

Si prende per esempio, del cloruro di magnesio, e lo si fonde, portandolo al rosso in un crogiolo di porcellana. Una parete porosa divide la parte superiore di questo in due compartimenti; in una è immersa una lamina di carbone, che serve di elettrodo positivo, nell'altro una lamina della stessa sostanza, ma munita di incisioni formanti come una serie di denti, diretti dall'alto verso il basso, e destinati a trattenere il metallo, il quale ha un peso specifico minore di quello del cloruro. Gli è col mezzo della corrente che il signor Deville, nel 1854, ha preparato l'alluminio, metallo che ha presentato proprietà tanto imprevviste ed interessanti.

Per l'elettrolizzazione dei composti binari solubili nell'aqua, si fa spesso uso delle loro dissoluzioni; però è conveniente, in generale, di prenderle assai concentrate.

597. Elettrolisi dei sali. — Se si sottopone all'azione elettrolitica la dissoluzione di un sale ordinario, si trova che si ha costantemente un deposito di metallo all'elettrodo negativo; all'elettrodo positivo si sviluppa dell'ossigeno e si produce dell'acido libero. E questo appunto quello che accade, per esempio, quando si immergono i due elettrodi in platino in una dissoluzione di solfato di rame. Se

in questa esperienza l'elettrodo positivo fosse formato da un metallo ossidabile, l'ossigeno si combinerebbe con esso e non si scorgerebbe alcun sviluppo di gas. Se fosse rame, l'ossido di rame prodotto si combinerebbe coll'acido, e si ricostituirebbe una quantità di solfato di rame, perfettamante uguale a quella che venne decomposta. Il liquido rimarrebbe dunque sempre nello stesso stato di saturazione, ed il rame depositato sull'elettrodo negativo, verrebbe esattamente compensato dal metallo asportato all'elettrodo positivo, il quale, in questo caso, prende il nome di *elettrodo solubile.*

Se si eseguisce la precedente esperienza sopra i sali dei metalli della prima sezione, i risultati non sono gli stessi, e diedero luogo, per molto tempo, ad un interpretazione erronea. Nel tubo rappresentato dalla figura 537 si pone del solfato di soda in soluzione, liquido completamente neutro alle cartoline di reattivi, e lo si colora con siroppo di viole. Se allora si fa passare la corrente, si osserva, dopo qualche tempo, una colorazione rossa attorno all'elettrodo positivo, ed una colorazione verde intorno all'elettrodo negativo. Se ne conclude che si ha, dell'acido al polo positivo, e dell'alcali al polo negativo. Si riconosce, di più, che si ha sviluppo di ossigeno al polo positivo e di idrogeno al polo negativo. Per molto tempo si pensò, che nell'elettrolizzazione dei sali, l'acido si portasse al polo positivo e la base al polo negativo. Nella decomposizione di un sale metallico, come quello di rame, si supponeva un'ulteriore elettrolizzazione dell'ossido, la quale avrebbe avuto per risultato di far comparire il metallo al polo negativo, e l'ossigeno al polo positivo. L'ipotesi di questa doppia elettrolizzazione successiva era assai complicata e del resto affatto gratuita. Essa, infatto, non venne posta che allo scopo di far concordare il senso dell'azione elettrolitica colle teorie chimiche, secondo le quali un sale è il risultato della riunione di un acido con una base. Nel caso del solfato di soda, la decomposizione, in fatto, si compie come in tutti gli altri casi. Al polo positivo si ha formazione di acido libero e di ossigeno, al polo negativo si porta il sodio, ma questo decompone l'aqua, come lo fanno tutti i metalli della prima sezione, l'idrogene proveniente da questa decomposizione si sviluppa, l'ossigeno si combina col sodio e forma la soda.

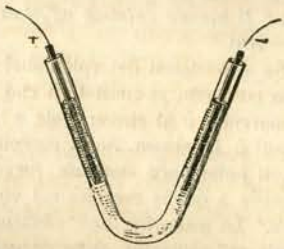


Fig. 537.

598. Elettrolisi dell'aqua. — Ciò che ora si è detto dei sali, si applica agli ossiacidi ordinari. Così, nella decomposizione dell'acido solforico allungato (SO^3, HO), l'idrogeno, che è una specie di metallo gasoso, si sviluppa al polo negativo; al

polo positivo si produce l'ossigeno, ed il corpo SO^3, il quale, coll'aqua, ricostituisce il composto primitivo. Gli è senza dubbio in questo modo che si produce ciò che si dice l'ettrolisi dell'aqua. Non è più infatto questo liquido, cattivissimo conduttore, che vien elettrolizzato, ma bensì l'acido, il quale si rigenera poi in modo continuo. Comunque sia, si fa spesso uso del voltametro per misurare l'intensità delle correnti; conviene di preferenza misurare il volume dell'idrogene, giacchè esso è maggiore di quello dell'ossigeno, e più ancora, perchè l'idrogene è meno solubile dell'ossigeno. È pure importante di non operare ad una temperatura troppo bassa.

Al disotto di 20° l'ossigeno può combinarsi coll'aqua e formare dell'aqua ossigenata; questa si spande nell'apparecchio e giunge al polo negativo, dove può venir ridotta da una porzione corrispondente d'idrogêno.

599. Leggi di Farady. — I fenomeni elettrolitici sono sottoposti alle seguenti leggi enunciate da Farady.

1.° *Il lavoro chimico effettuato dalla corrente è lo stesso in tutti i punti del circuito.*

Se si pongono dei voltametri nei diversi punti di un circuito attraversato da una corrente, si constaterà che il volume dell'idrogeno raccolto in ciascuno degli apparecchi è lo stesso, vale a dire che la quantità d'aqua decomposta in quei punti è la stessa. Se la corrente presenta qualche derivazione, due voltametri posti nelle parti derivate raccolgono quantità di idrogeno la di cui somma è uguale a quella raccolta nel voltametro posto nella corrente principale.

2.° *La quantità dell'elettrolito decomposto in un dato tempo, è proporzionale all'intensità della corrente.* Per dimostrare questa proposizione basta di far circolare, ad un tempo, la corrente, in una bussola dei seni ed in un voltametro; si può così osservare l'intensità della corrente ed il volume di idrogeno raccolto nel voltametro; cambiando l'intensità della corrente si trova verificata la legge enunciata, giacchè si trova che il rapporto dei gas raccolti è uguale al rapporto delle intensità delle correnti.

3.° *Se in un circuito diversi elettroliti son sottoposti all'azione della corrente, le quantità decomposte di ciascuno di essi riescono proporzionali ai loro equivalenti.* Questa legge è la più notevole, e mostra che, al lavoro chimico necessario per separare delle quantità ponderali chimicamente equivalenti, corrisponde una stessa intensità elettrica, vale a dire una stessa quantità di elettricità, o, se si vuole, uno stesso lavoro elettrico.

È poi importante di osservare che questa legge non si applica solo agli elettroliti posti nel circuito esterno alla pila, ma anche agli elettroliti costituenti la pila stessa.

Da ciò si vede come la quantità di elettricità, o l'intensità elettrica, è proporzionale ad un tempo, al lavoro chimico interno della pila, ed al suo lavoro esterno, ciò che stabilisce fra l'azione chimica e l'elettricità una relazione delle più strette. Da qui si capisce quanto importi di ben studiare la disposizione degli elementi destinati a formare una pila. Si supponga, per esempio, che si impieghi un elemento per produrre un dato effetto; in questo elemento si discioglierà una quantità di zinco in relazione coll'intensità della corrente. Ora, se, per effettuare la stessa operazione con una corrente di ugual intensità, si fa uso di una pila di cinque elementi, il consumo di zinco in ciascun elemento sarà lo stesso di quello che aveva luogo nell'elemento unico; il consumo totale riescirà dunque effettivamente cinque volte maggiore. Se dunque si vuol produrre una data operazione, bisognerà, in generale, attenersi al numero di elementi strettamente necessario

alla data operazione; oltre questo numero, l'aumento di intensità prodotto dall'aggiunta di un'elemento, può esser più che compensato dal consumo di zinco nel nuovo elemento.

600. Polarizzazione degli elettrodi. — Quando degli elettrodi hanno servito per lungo tempo a produrre la decomposizione di un'elettrolito, se si immergono poi in un liquido conduttore e li si riuniscono all'esterno con un filo, si constata la produzione di una corrente di senso contrario al primitivo.

Si supponga, per esempio, che una pila di Busen abbia servito alla decomposizione del solfato di potassa, per mezzo degli elettrodi *A* e *B*; *A* essendo l'elettrodo positivo e *B* quello negativo, la corrente, va nel vaso che serve alla decomposizione, da *A* verso *B*; si sopprima ora la pila e si riuniscano gli elettrodi con un filo; si produrrà una corrente diretta da *B* verso *A*.

Si può spiegare la produzione di questa corrente nel modo seguente: Durante l'elettrolisi, della potassa si accumula sull'elettrodo *B* e dell'acido solforico sull'elettrodo *A*; ora, questi elementi possono reagire l'uno sull'altro per l'intermezzo del liquido: deve perciò prodursi, su di una superfice posta press'a poco ad ugual distanza dagli elettrodi, una combinazione dell'acido e dell'alcali, che dà luogo ad una corrente diretta da *B* verso *A*. Questo fenomeno ha preso il nome di *polarizzazione degli elettrodi*. È questo fenomeno una delle cause principali dell'indebolimento della corrente nelle pile ad un solo liquido.

Alcune pile si polarizzano più fortemente e più prontamente di altre; è ciò che accade, per esempio, nella pila a bicromato di potassa. La presenza di un diaframma poroso nella pila a due liquidi, attenua notevolmente gli effetti di polarizzazione.

601. Doratura ed argentatura galvanica. — Le applicazioni elettrochimiche sono numerose ed importanti. Ecco alcune delle principali e più importanti fra di esse.

Il deposito di uno strato d'oro o d'argento alla superfice di un altro metallo meno prezioso non costituisce altro che l'esperienza dell'elettroliti di un sale, descritta al § 597. Qualunque sia il metallo che entra nella dissoluzione, esso si deposita sempre sull'elettrodo negativo; basta dunque formar quest'ultimo coll'oggetto stesso che si vuol ricoprire di metallo. Tutta la quistione industriale si riduce alla scelta della dissoluzione, tale che il deposito riesca solido ed aderente. I brevetti dei signori Roulz ed Elkington, vennero utilizzati per molto tempo in Francia dalla casa Christofle, e realizzano completamente queste condizioni pratiche.

Le dissoluzioni son sempre alcaline, e generalmente formate con cianuro o cloruro metallico, disciolto in un cianuro alcalino.

Per formare il *bagno d'oro* si disciolgono 50 grammi di oro *fino* nell'aqua regia, si evapora e, quando il liquido ha raggiunto la consistenza siropposa, si aggiunge dell'aqua e 50 grammi di cianuro di potassa; si fa bollire e si preparano, colle quantità indicate, 50 litri di soluzione.

Si forma l'elettrodo negativo col pezzo da dorare, l'elettrodo positivo è formato da una lamina d'oro fino, costituente un'elettrodo solubile; in questo modo il liquido conserva sempre lo stesso ti-

tolo. È conveniente, onde ottenere una doratura di buona qualità, di mantenere il bagno ad un temperatura dai 60 ai 70 gradi.

La figura 538 rappresenta l'apparecchio di cui si fa spesso uso per la doratura. I poli della pila si attaccano a due verghe, appoggiate sulla vasca contenente il bagno; alla verga negativa son sospesi gli oggetti da dorare, a quella positiva una lamina d'oro fino, le di cui dimensioni devono essere in rapporto colla superfice totale degli oggetti sospesi all'eletrodo negativo.

Il bagno d'argento è formato da una dissoluzione nella proporzione di 2 parti di cianuro d'argento e 10 parti di cianuro di potassio, in 250 parti d'aqua. L'operazione è identica a quella della doratura, solamente gli apparecchi sono generalmente più estesi e si può, senza inconvenienti, operare a freddo.

Si aggiunga che, onde il deposito galvanico possa farsi in modo regolare alla superfice degli oggetti, bisogna che questi sieno preventivamente spogliati delle sostanze grasse che li ricoprono.

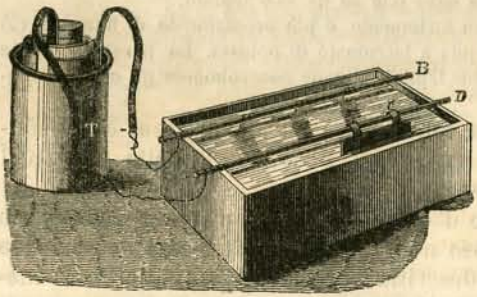


Fig. 538.

Il deposito galvanico, non solamente può effettuarsi sulla superfice dei metalli, ma anche sulla superfice di una sostanza qualunque, purchè la si sia resa conduttrice alla sua superfice; si possono così inargentare dei cestelli, dei frutti, dei fiori, ecc. Il processo si applica con un metallo qualunque, e non occorre di aggiungere parole per comprendere le operazioni della ramatura, della platinatura, ecc.

602. Elettrotipia. — L'elettrotipia consiste nella riproduzione galvanica in rame, di una medaglia, di una tavola incisa, ecc. I primi tentativi datano al 1827 e furono fatti dal signor Jacobi, a Pietroburgo, e dal signor Spencer, a Londra; quest'arte ha preso oggigiorno un grande sviluppo.

Si supponga che si voglia riprodurre una medaglia: si comincia dal ricavarne uno stampo esatto in incavo; per questa operazione, si fa uso, sia della lega fusibile, sia di gesso, sia, più sovente, di gutta-percha rammollita a 100°. Lo stampo in lega è buon conduttore per sè stesso; per gli altri bisogna metallizzarne la superfice, strofinandola con piombaggine. Lo stampo così preparato vien disposto, come elettrodo negativo, in un bagno di solfato di rame,

mentre l'elettrodo positivo è formato da una lamina di rame; al passare della corrente, il rame si deposita sulle parti cave dello stampo e forma così una lamina, la quale, staccata che sia, riprodurrà colla sua faccia in contatto collo stampo, la faccia della medaglia; si potrà, eseguendo la stessa operazione pel rovescio della medaglia, ottenerne un facsimile esatto.

Spesso, nelle operazioni di questo genere, si fa uso di un semplicissimo apparecchio, nel quale l'elettricità è prodotta nel bagno stesso; la figura 539 rappresenta la disposizione di tale apparecchio. In un vaso contenente una soluzione satura di solfato di rame, si dispone, sostenendolo opportunamente, un secondo vaso in terra porosa, od anche semplicemente un vaso di vetro, chiuso alla parte inferiore con una membrana; in questo secondo vaso si pone dell'aqua acidulata ed un piccolo cilindro di zinco. Nel vaso esterno lo stampo si deve disporre esattamente al disotto e di contro al fondo del vaso poroso. Il cilindro di zinco e lo stampo sono fissati ad un'asta di ottone, che stabilisce tra loro la comunicazione elettrica. Questo apparecchio, come si vede, non è altro che un elemento Daniell i di cui poli sono riuniti fra loro; esso è quindi attraversato in modo continuo da una corrente che va dallo zinco al rame. Il metallo, trasportato nello stesso senso della corrente, si deposita sulla superfice dello stampo.

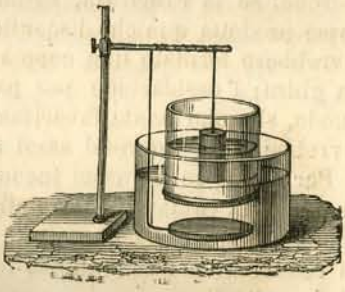


Fig. 539.

In questo apparecchio semplice, la soluzione non resta sempre allo stesso titolo, come nell'apparecchio composto ad elettrodo solubile, ma va invece man mano impoverendosi. Si rimedia a questo inconveniente disponendo nell'apparecchio, entro un recipiente traforato, dei cristalli di solfato di rame, i quali, dissolvendosi gradatamente, mantengono satura la soluzione.

603. Diverse applicazioni dell'elettrotipia. — Fra le diverse applicazioni dell'elettrotipia è da citarsi quella che si riferisce alla riproduzione delle vignette. Le tavole di legno incise costituenti il lavoro primitivo del disegnatore e dell'incisore, non possono sopportare tiratura appena notevole senza alterarsi, od anche schiacciarsi, così che, dopo qualche migliajo di copie, il legno sarebbe perduto e dovrebbe esser rifatto. Perciò non è col legno che si fa la tiratura, ma con una riproduzione galvanica di esso, in rame, detta *cliché*, prodotta col mezzo di uno stampo in gutta percha. La ramatura non si fa durare che 24 ore e se ne ottiene così una lamina sottilissima, che vien poi rinforzata, versandovi sopra della

lega di caratteri da stampa. Gli è in questo modo che son riprodotte le vignette delle opere illustrate, al giorno d'oggi tanto sparse. Un cliché galvanico può sopportare una tiratura di 80,000 esemplari. Gli è pure per mezzo di un tipo unico che si ottengono le tavole per la stampatura dei francobolli, la di cui conformità assoluta coll'originale è rigorosamente necessaria, onde sviare qualunque tentativo di falsificazione. La tiratura è in questo caso assai attiva e le tavole devono essere rinnovate spesso, ma le operazioni a ciò necessarie non alterano sensibilmente il tipo primitivo.

Fu appunto per mezzo di un apparecchio *semplice*, ma di grandi dimensioni, che i candelabri a gas di Parigi vennero ricoperti da uno strato di rame galvanico. Il corpo dei candelabri è in ghisa; non è però sulla ghisa che venne prodotto il deposito, ed ecco il perchè: se la ramatura, essendo stata eseguita direttamente, si fosse prodotta qualche discontinuità nello strato, il rame e la ghisa avrebbero formato una coppia voltaica, avente per polo positivo la ghisa; l'ossidazione per parte dell'aria sarebbe stata, per tal modo, singolarmente favorizzata da questa influenza galvanica, ed avrebbe fatto progressi assai rapidi (1).

Per isfuggire a questo inconveniente, si incomincia dal ricoprire il pezzo da ramarsi di uno strato di minio, il quale vien ricoperto, quando è secco, da uno strato di piombaggine finissima, allo scopo di render buona conduttrice la superfice; è su questo strato che si deposita il rame.

CAPITOLO XVI.

INDUZIONE.

604. Correnti di induzione. — Si dà il nome di *correnti di induzione* a correnti prodotte dall'influenza di correnti o di magneti vicine; gli è Faraday che le fece conoscere nel 1831; questa scoperta va

(1) Gli è appunto un fenomeno di questo genere che accade nella latta, la quale non è altro che lamiera di ferro coperta di stagno. Finchè lo strato di stagno è intatto, il ferro è preservato dalla ossidazione; ma quando si produca una soluzione di continuità, il ferro diventa il polo positivo di una coppia, e l'ossidazione diventa assai rapida. Questo inconveniente non ha luogo nel ferro coperto di zinco, detto ferro galvanizzato. Infatti, in questo caso, è lo zinco che forma il polo positivo della coppia e che si ossida; ma il suo ossido, assai aderente al metallo, forma presto uno strato che difende gli strati interni dalla successiva ossidazione.

annoverata fra le più importanti della fisica moderna. Ampère sembra pure che fosse riuscito ad eccitare una corrente in un conduttore, coll'azione di una corrente vicina (1), ma le sue esperienze, in ogni modo, non furono complete, esse non hanno avviato ad alcuna ricerca della legge fisica di un fenomeno tanto importante, e restarono quindi senza influenza sui lavori di Faraday.

605. Influenza prodotta al cominciare od al cessare di una corrente. — Si immagini un rocchello *B* (fig. 540) sul quale sieno avvolti, parallelamente l'uno all'altro, due fili; uno di questi comunica, colle sue estremità, col filo di un galvanometro *G*; le estremità dell'altro sono immerse nei due bicchieri *g* e *g'*, dove hanno pur capo i reofori dell'elemento *P*. Finchè la corrente passa nel secondo filo, l'ago del galvanometro resta immobile, ma se si interrompe la corrente, sollevando uno dei fili immersi nei bicchieri, all'atto di questa interruzione si manifesta una deviazione, che accusa l'esistenza di una corrente di senso uguale a quello della corrente

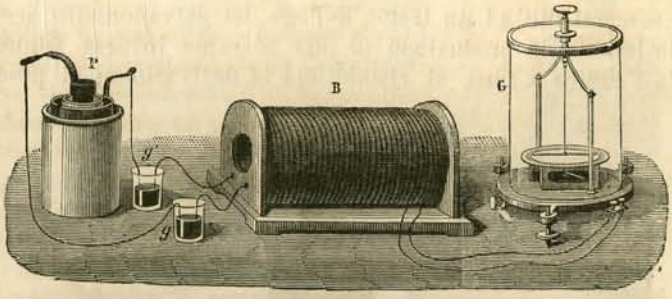


Fig. 540.

induttrice; tal corrente è, per così dire, istantanea, e l'ago presto riprende la sua posizione iniziale. Se allora si ristabilisce la corrente, si ottiene una deviazione contraria alla prima, deviazione che manifesta la produzione di una corrente di senso contrario a quello della corrente induttrice. Questa corrente è, come l'altra, istantanea e, dopo alcune oscillazioni, l'ago ritorna a zero. Si può dunque enunciare la proposizione seguente: *Quando una corrente comincia, induce in un filo vicino una corrente di ugual senso o diretta; quando una corrente cessa, induce in un filo vicino una corrente di senso contrario od inversa.*

606. Induzione prodotta dalla variazione di intensità di una corrente. — Si faccia uso dell'apparecchio ora descritto; si supponga che la cor-

(1) Rapporto del signor Quet, pag. 96.

rente passi in uno dei fili, e si riuniscano i due bicchieri col filo conduttore *d* (fig. 541); si produce così una derivazione, e l'intensità della corrente nel rocchello rimane naturalmente diminuita. Si

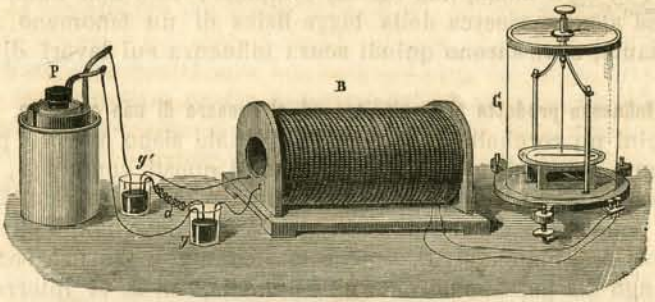


Fig. 541.

supponga l'ago del galvanometro allo zero, e si sollevi una delle estremità del filo di derivazione; la corrente del rocchello vien così ad accrescersi tutt'ad un tratto, e l'ago del galvanometro accusa, nel filo indotto, la produzione di una corrente inversa. Ritornato che sia l'indice a zero, si ristabilisca la derivazione; si produce

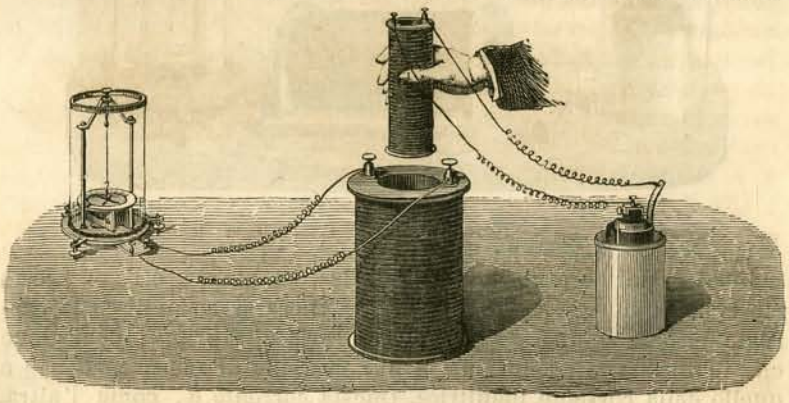


Fig. 542.

nel filo indotto una corrente diretta; dunque: *quando una corrente aumenta di intensità, essa induce in un filo vicino una corrente inversa; quando la sua intensità diminuisce, induce una corrente diretta.*

607. Induzione prodotta dalla variazione di distanza. — La variazione di intensità di una corrente può ottenersi anche col variare della distanza alla quale essa agisce. Si fa uso, per esempio, di un rocchello (fig. 542) sul quale è avvolto del filo, le estremità del quale

comunicano col galvanometro; un secondo rocchello, il di cui filo è percorso da una corrente, può entrare nel cavo del primo rocchello. All'atto in cui si fa entrare questo rocchello nell'altro, l'ago del galvanometro accusa la produzione di una corrente inversa; ritornato che sia l'ago al riposo, si toglie il rocchello; si produce allora nell'altro una corrente diretta. Queste correnti differiscono dalle precedenti pel fatto che esse non sono istantanee, ma durano invece per tutto il tempo per cui dura il variare di distanza fra i due rocchelli. Si può dunque enunciare la seguente proposizione: *Quando un conduttore attraversato da una corrente si avvicina ad un conduttore vicino, vi induce una corrente inversa; quando se ne allontana vi induce una corrente diretta.*

608. Induzione magneto-elettrica. — Le magneti, potendonsi considerare come un sistema di correnti, devono dar origine a fenomeni di induzione analoghi ai precedenti; il verificarsi di questa previsione costituisce una nuova conferma della teoria di Ampère. L'esperienza può disporsi nel seguente modo: Si fa uso di un rocchello cavo (fig. 543) il di cui filo è in comunicazione, coi suoi estremi *f*, *f'*, con un galvanometro. Si presenta di contro all'apertura del rocchello il polo boreale delle magnete *A B*. Finchè la magnete conserva la stessa posizione rispetto al rocchello, l'ago del galvanometro rimane a 0; ma se la si introduce nell'interno, l'ago si muove ed accusa la produzione nel rocchello di una corrente, inversa a quella costituente la magnete; questa corrente persiste durante tutto il tempo per cui dura il movimento della magnete. Quando la magnete si ferma, l'ago ritorna al riposo; se allora si ritira la magnete, il rocchello diventa la sede di una corrente diretta. Si può eseguire l'esperienza in altro modo, nel quale il risultato è anche molto più sensibile. Si pone nel rocchello (fig. 544) un cilindro di ferro dolce e ad esso si avvicina o si allontana una calamita. Sotto l'influenza di questa, il ferro dolce diventa una magnete, la di cui intensità va crescendo, quando la calamita si avvicina, e decrescendo, quando se ne allontana. Nel primo caso si produce nel rocchello una corrente inversa e nel secondo caso una corrente diretta. Dunque, *tutte le volte che una calamita si forma, o subisce un accrescimento di intensità, in vicinanza di un conduttore, essa induce in questo una corrente inversa; si ha all'opposto induzione di una corrente diretta, quando la magnete si distrugge, o diminuisce di intensità.*

Fig. 543.

609. Legge di Lenz. = Il senso delle correnti di induzione, ottenute nelle diverse condizioni precedentemente accennate, si può esprimere in un modo generale per mezzo della legge seguente, enunciata per la prima volta dal signor Lenz, fisico russo: *Quando una corrente è indotta dal movimento relativo di un conduttore e di una corrente, o di una magnete, l'azione induttrice tende a far nascere in ciascun elemento del conduttore una corrente diretta in modo che la sua azione elettro-dinamica sulla corrente o sulla magnete inducente, tende a produrre un movimento contrario al movimento effettivo.*

Così, per esempio, quando un filo conduttore attraversato da una corrente si avvicina ad un altro filo, vi induce una corrente inversa. Infatti l'azione di quest'ultima corrente è appunto quello di respingere la prima, vale a dire di produrre un movimento contrario a quello che ha luogo effettivamente.

610. Induzione per azione della terra. — La terra potendosi considerare come una magnete, si capisce come la sua azione induttrice

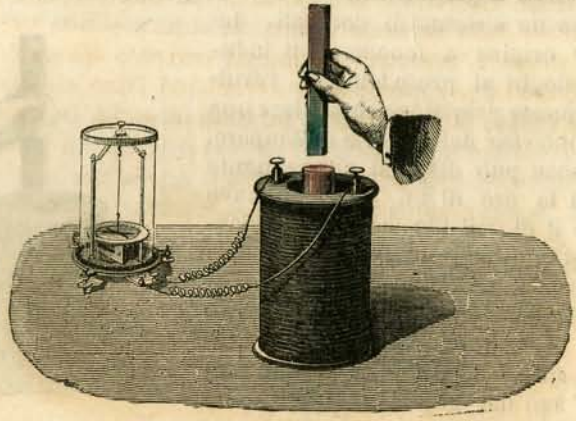


Fig. 544.

possa determinare una corrente in un circuito conduttore. La legge di Lenz permette di intendere la disposizione per mezzo della quale si è potuto ottenere tal risultato. Si è visto infatti (564) che un conduttore rettangolare, mobile intorno ad un'asse orizzontale e perpendicolare al meridiano magnetico, si pone in movimento sotto l'azione della terra e si dispone in un piano perpendicolare all'ago d'inclinazione. Se dunque si imprime artificialmente un movimento di rotazione al conduttore allo stato naturale, si produrrà in esso una corrente inversa di quella alla quale la terra comunicherebbe il movimento considerato. Gli è chiaro che se si fa fare al rettangolo una rivoluzione completa, a partire dalla posizione che corrisponde all'equilibrio, si produrrà una corrente, il di cui senso cambierà dalla prima mezza rivoluzione alla seconda. Se dunque si imprime al sistema un movimento di rotazione continuo, ne risulterà una serie di correnti successive, che cambiano

di senso ad ogni mezza rivoluzione; le quali però si possono raddrizzare col mezzo di un commutatore, ed applicare alla produzione dei differenti effetti. È questo appunto il principio su cui si basa una macchina assai curiosa, costruita, pochi anni dopo la scoperta dell' induzione, dai signori Linari e Palmieri, nella quale, senza magneti, senza pile, col solo movimento di un conduttore, si ottiene una corrente capace di produrre tutti gli effetti delle correnti ordinarie.

611. Induzione di una corrente sopra sè stessa. — Extracorrente. — Quando si interrompe il circuito attraversato da una corrente, questa non cessa contemporaneamente in tutti i punti; deve dunque perciò prodursi una azione induttrice di ciascun elemento sull' elemento vicino, il di cui risultato è la produzione di una corrente indotta, di ugual senso della corrente primitiva; si ha così una *corrente indotta su sè stessa.* L' esistenza di questa corrente spiega fenomeni ben noti. Quando, per esempio, si avvicinano l'uno all'altro i due reofori della pila, non si osserva scintilla di sorta, in causa della

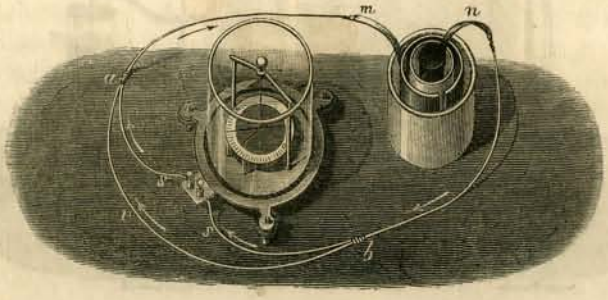


Fig. 515.

debole tensione delle elettricità polari; però se, dopo di aver riuniti i reofori, li si disgiungono nuovamente, si osserva una scintilla, più o meno viva, sempre però apprezzabile; gli è ordinariamente per mezzo di questa scintilla che ci si accerta del passaggio della corrente in un circuito. Questa scintilla può farsi assai brillante quando il circuito, avendo una grande lunghezza, se ne avvolge una parte a spirale; più ancora quando in questa si introduce un nucleo di ferro dolce. È infatti chiaro che la reazione delle diverse parti del filo le une sulle altre, deve aver luogo, in questo caso, in un modo più efficace; per quanto riguarda il ferro dolce, la sua magnetizzazione, cessando in pari tempo della corrente, ne deriva un'azione induttrice, il di cui effetto si aggiunge all'induzione propria del filo.

Si può dimostrare direttamente l'esistenza di tal corrente, coll'e-

sperienza seguente: si introduce un filo di derivazione *a s b* nel circuito della pila (fig. 545), nel qual filo si introduce un galvanometro; l'ago è deviato, ma lo si riduce a 0 col mezzo di un ostacolo posto dalla parte dalla quale accade la deviazione, cosichè resta libero il movimento nel senso opposto. Se allora si interrompe il circuito in *m* od in *n*, si vede l'ago deviare per un istante nel senso contrario al primo. Al momento della rottura del circuito si produce dunque una corrente contraria a quella preesistente; ma questo senso inverso nel filo di derivazione, corrisponde ad un senso diretto nell'altra porzione *a r b* del circuito. Riesce dunque dimostrato che, all'atto della rottura di un circuito, alla corrente che lo percorre si sovrappone una corrente istantanea e

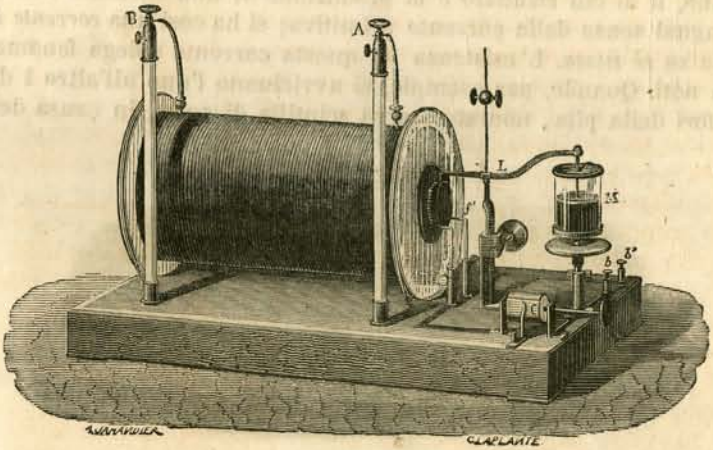


Fig. 546.

di ugual senso. Si potrebbe ugualmente dimostrare che, all'atto in cui si stabilisce la corrente in un circuito, si ha induzione di una corrente inversa.

La corrente indotta nel filo derivato ha ricevuto il nome di extracorrente. Sebbene di piccolissima durata, essa è suscettibile di produrre effetti fisiologici assai notevoli.

Se si suppone che la derivazione venga stabilita dal corpo di un osservatore, il quale tenga nelle mani due impugnature metalliche in comunicazione col circuito, a ciascuna interruzione della corrente l'osservatore proverà una forte commozione e, se le interruzioni si succedono con una certa rapidità, la serie delle commozioni può divenire assai penosa. Tutti gli apparecchi usati nel trattamento elettrico delle malattie (elettro-terapia) devono infatto i loro effetti all'extracorrente che si produce al momento dell'interruzione o del cambiamento di senso delle correnti indotte.

612. Rocchetto di Ruhmkorff. — Il carattere proprio delle correnti di induzione sembra quello di una tensione polare, quale non la si incontra mai nella pila. Si ha come una spece di associazione, assai interessante, dello stato statico e del dinamico dell'elettricità. Questa particolarità venne nettamente rilevata nel 1842 da Masson, il quale, in un lavoro fatto in comune col signor Bréguet, riuscì, cogli estremi di un lungo filo indotto, a caricare dei condensatori; si potè persino, in certe circostanze, constatare delle piccole scintille di tensione. Questi effetti si producono con una notevolissima intensità nel rocchetto di induzione, al quale Rhumkorff ha legato il proprio nome.

L'apparecchio è formato (fig. 546) da un rocchello, la di cui parte centrale è occupata da un fascio di grossi fili di ferro, riuniti alle loro estremità col mezzo di due dischi di ferro dolce. Attorno a questo nucleo si avvolge un filo di rame, di due millimetri circa di diametro; è questo il filo induttore; le sue estremità si trovano in *f* ed *f'*. Il filo indotto, di diametro assai più piccolo ($^1/_4$ di millimetro) ha una lunghezza molto più notevole. Nel gran modello, il filo induttore è lungo 80 metri ed il filo indotto può avere fino a 150 kilometri di lunghezza. Le diverse spire di questi due fili sono accuratamente isolate le une dalle altre. Le due estremità del filo indotto mettono capo a due piccoli serrafili metallici *A* e *B*, portati da colonne di vetro. Se, poste queste disposizioni, si fa passare una serie di correnti interrotte nel filo induttore, si produrrà una serie corrispondente di correnti, alternativamente dirette ed inverse, nel filo indotto. Queste interruzioni si producono automaticamente in diverse maniere, a seconda dei tipi. Nei piccoli modelli, ad esempio, si fa uso di una disposizione simile a quella delle sonerie dei telegrafi; nei grandi modelli si preferisce l'interruttore di Focault, rappresentato dalla figura.

I reofori della pila si fissano in *b* e *b'*. La corrente, entrando da *b*, per esempio, passa al bottone commutatore *C*, e di qui all'estremità *f*, per mezzo di una lastrina incrostata nella base dell'apparecchio. Dopo di aver percorso il filo induttore, sorte da *f'* e passa ad una colonna metallica, portante alla parte superiore una molla, alla quale è fissata una leva trasversale *L*. Una delle estremità della leva termina in punta, così da sfiorare la superfice del mercurio contenuto in un vaso il *M*, il di cui fondo metallico è in comunicazione con *b'*. L'altra estremità della leva *L* porta una piccola massa di ferro dolce, posta al disopra ed a piccola distanza dal fascio di ferro dolce dell'apparecchio.

La corrente venendo a passare, il fascio centrale si magnetizza, e la massa di ferro dolce viene attirata, producendo il movimento della leva verso la sinistra; ma allora la punta sorte dal mer-

curio; il circuito è interrotto e la corrente cessa. L'elasticità della molla risolleva la massa di ferro dolce, e la punta si immerge nuovamente nel mercurio; la corrente passa di nuovo, e così di seguito. Generalmente si versa sopra al mercurio uno straterello d'alcool assoluto, la di cui conducibilità è quasi nulla, ciò che rende la chiusura e le interruzioni quasi istantanee.

Il commutatore C, usato anche in altri apparecchi elettrici, serve a lanciare a volontà la corrente in un senso od in un altro, od anche ad interromperla. Ecco come si compiono tali funzioni.

L'apparecchio è formato da un cilindro di materia isolante (figura 547), girevole su due sostegni isolanti, appoggiatovi per due perni metallici. L'uno dei perni è, per mezzo della vite g, in comunicazione continua colla lamina di rame C, posta alla superfice del cilindro. Una lamina di rame C', opposta alla prima, comunica in modo continuo, per mezzo della vite g', coll'altro pernio. Queste due lamine C e C' lasciano fra loro allo scoperto una certa porzione della superfice isolante del cilindro. La corrente, condotta dai serrafili A ed A', può, per mezzo delle mollette f ed f', passare sulle lamine di rame, da queste ai perni e quindi alle estremità D e D' del circuito che gli si vuol far attraversare. Si capisce che, se si fa girare il bottone di 180°, la corrente assumerà una direzione inversa nel circuito; se poi si gira il bottone in modo che le mollette f ed f' si appoggino sulla parte isolante del cilindro, la corrente non passerà nel circuito. Inutile di dire che il bottone, che si fa muovere a mano, è accuratamente isolato dal pernio metallico; senza tale precauzione l'operatore risentirebbe, al chiudersi del circuito, delle commozioni, le quali potrebbero anche riescire pericolose.

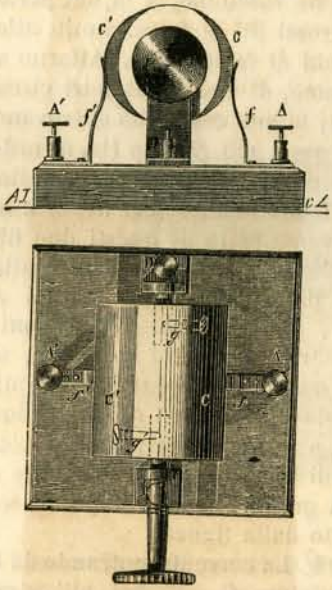


Fig. 547.

613. Scintilla del rocchetto. — Se si chiude il circuito formato dal filo indotto, questo viene ad esser attraversato da correnti, alternativamente in un senso e nell'altro, le quali corrispondono all'attivarsi ed all'interrompersi della corrente induttrice; queste correnti dirette ed inverse hanno uguale intensità. Se infatti si pone il filo indotto in relazione con un voltametro, nelle due campa-

nelle si trova un miscuglio, in uguali proporzioni, di ossigeno e di idrogeno. Se però il circuito indotto presenta in qualche parte una interruzione, la corrente inversa rimane soppressa, in causa della sua debole tensione; non rimane che la corrente diretta, la quale assume la vera forma statica e fornisce scintille brillantissime ed affatto identiche a quelle che si possono trarre dalla macchina elettrica. Si può, con tali scintille, caricare una batteria, forare una lastra di vetro, infiammare corpi combustibili, ecc.

Fig. 548.

Quest'ultimo fenomeno vien utilizzato nell'accensione dei focolai di mina, che si possono così infiammare ad un'istante rigorosamente determinato; vantaggio questo di importanza evidente. Si può, a tal uopo, far uso dei razzi del signor Stateham (fig. 548). Son questi formati da un filo di rame ricoperto di gutta-percha, presentanti una soluzione di continuità. I due capi, separati da un intervallo di qualche millimetro, son collocati in un piccolo cilindro *AB* in guttapercha, ricoperto internamente di solfuro di rame. Il tutto è posto in una cartuccia *CD*, piena di polvere. All'atto del passaggio della scintilla, il solfuro di rame si arroventa e la polvere si infiamma.

614. Aspetto della scintilla nei gas rarefatti. — Ponendo gli estremi del filo indotto in comunicazione coll'uovo elettrico (fig. 549), nel quale sia stata rarefatta l'aria quanto è possibile, si scorge uno sprazzo luminoso, di color porporino, slanciarsi dal bottone positivo fino a piccola distanza dal bottone negativo, il quale è orlato da una luce azzurrognola; le due luci sono separate da una piccola zona oscura. Operando su altri gas, cangia la tinta della luce, ma sempre si osserva una differenza pronunciata fra le luci dei due bottoni. Per mezzo del commutatore si può a volontà cambiare il senso della corrente, e scambiare così a volontà le apparenze luminose caratteristiche dei due poli.

Se, prima di rarefare l'aria, si introduce nell'uovo una piccola quantità di alcool, di essenza di terebenteno, o d'altre sostanze volatili, la luce prova una modificazione curiosa; essa presenta una serie di strati, alternativamente brillanti ed oscuri; si ottiene così ciò che dicesi stratificazione della luce.

Fig. 549.

Questi fenonemi riescono più spiccati nei tubi lunghi, che nell' uovo elettrico e presentano anche delle varietà di tinte, a seconda dei diversi gas. Il signor Geissler ha, pel primo, costruito dei tubi nei quali i diversi gas si trovano assai rarefatti e possono ricevere la corrente di induzione, pel mezzo di fili di platino, fissati alle loro estremità. Alcune sostanze, quali il vetro d'uranio, il solfato di quinina, prendono, sotto l'azione della luce elettrica, delle tinte spesso assai brillanti; questi fenomeni prendono il nome di fluorescenza; introducendo nei tubi di Geissler delle sostanze fluorescenti, si possono ottenere effetti assai brillanti.

615. Azione delle calamite sulle correnti trasmesse nei gas rarefatti. — Le masse luminose dei tubi di Geissler sono vere correnti, come l'arco voltaico; esse sono capaci d'agire sull'ago magnetico e sono sciuscettibili di sentire, reciprocamente,

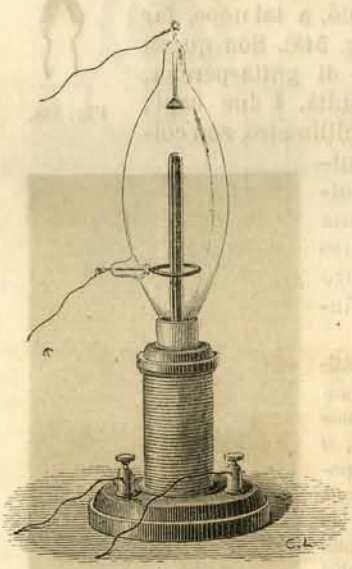


Fig. 550.

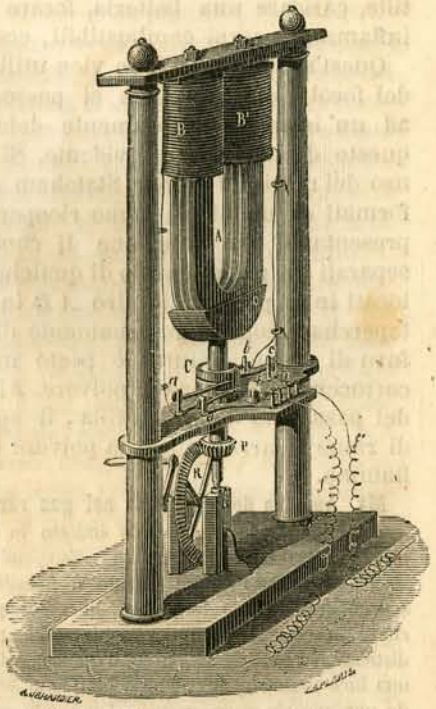


Fig. 551.

l' azione delle calamite. Si rende manifesto questo fatto colla seguente esperienza. Un cilindro di ferro dolce (fig. 550) è disposto in un pallone, nel quale si può rarefare l'aria, ed avviluppato in tutta la sua altezza con un astuccio di materia isolante che lo separa da un anello metallico, posto alla parte inferiore del pallone. Quando si mettano in comunicazione i due poli del rocchetto coll'anello e colla parte superiore dell' apparecchio, un fascio luminoso si lancia dalla cima verso l'anello, avviluppando il ferro dolce. Se allora si pone al disotto dell' apparecchio una calamita od un'elettrocalamita animata dalla corrente, il ferro dolce si magnetizza ed il fascio luminoso entra in rotazione intorno ad esso. Considerando questo fascio come una corrente, la rotazione che esso prova è un semplice fenomeno di elettrodinamica. Se alla parte superiore dell' apparecchio si dispone

un largo anello metallico, si produce un vero nappo luminoso, il quale, quando il ferro è magnetizzato, prende pure un movimento di rotazione. Il signor de la Rive lo considera come un' immagine abbastanza esatta di ciò che accade nelle aurore boreali.

616. Macchine elettromagnetiche. — L' induzione delle correnti per mezzo delle calamite, ha dato origine alle macchine magneto elettriche, nelle quali si producono, senza pila, e per la sola influenza delle magneti, delle correnti, che possono applicarsi a diversi casi. La prima macchina di questa natura venne costruita nel 1833, poco tempo dopo la scoperta dell' induzione, dal costruttore francese Pixii. In questo apparecchio si faceva girare una magnete *A* (fig. 551) in

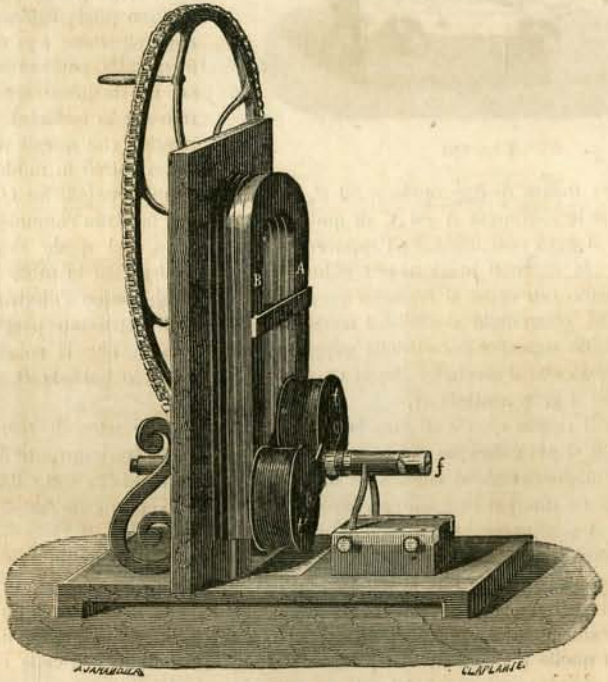


Fig. 552.

presenza di un rocchello fisso *B B'*, il di cui filo diveniva, per tal modo, la sede di una corrente; la disposizione dell' apparecchio venne in seguito migliorata da Saxton e Clarke, i quali ebbero l'idea di rendere fissa la magnete e di porre in rotazione il rocchello, che è di quella più leggera. L'apparecchio così modificato, è conosciuto col nome di *macchina di Clarke*.

617. Macchina di Clarke. — La macchina di Clarke è formata da un fascio magnetico *AB* (fig. 552) a ferro di cavallo, fissato ad un supporto verticale; di contro ai poli della magnete si trova un sistema formato da due rocchelli *l* e *l'*, contenenti nel loro interno dei nuclei di ferro dolce, riuniti dalla parte della magnete, con una lamina di rame, e dalla parte opposta con una lastra di ferro dolce. Il filo è avvolto come in un' elettrocalamita ordinaria, vale a dire in senso contrario su ciascun rocchello.

I rocchelli son portati da un perno f, che attraversa il supporto della magnete e termina, da questa banda, con un pignone. Una catena senza fine, passando su di una ruota munita di manubrio, permette di dare al pignone, e quindi ai rocchelli, un rapido moto di rotazione. I due estremi anteriori del filo dei rocchelli si riuniscono fra loro a formarne uno solo, il quale va a fissarsi sull' asse; i due capi posteriori si riuniscono pure, e si trovano in comunicazione con una viera in metallo, concentrica all'asse, ma da questo separata con uno strato isolante. Se si immagina che questi due pezzi sieno riuniti in modo permanente, per mezzo di due molle r ed r', con due linguette metalliche O, O' (fig. 535), e che le estremità N ed N' di queste linguette si facciano comunicare pure fra loro, si avrà così dinanzi all'apparecchio un circuito, nel quale si potranno raccogliere le correnti prodotte per induzione, quando si ponga in moto la ruota.

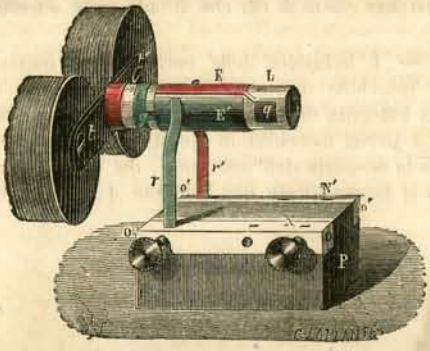


Fig. 533.

Esaminiamo ora come si formano queste correnti. Supponiamo l'elettromagnete in posizione orizzontale cosicchè i nuclei di ferro dolce si trovino precisamente di contro alle superfici polari della magnete, e si immagini che la rotazione accada in modo che il rocchello che si trova di contro al polo boreale B, salga e si porti verso il polo australe A.

Durante il primo quarto di giro la magnetizzazione del nucleo di ferro è decrescente e si avrà dunque nel rocchello una corrente diretta; durante il secondo quarto la magnetizzazione cambia di senso e cresce di intensità sotto l'azione del polo A; si ha dunque una nuova corrente diretta. Durante queste fasi, il secondo rocchello A si allontanava dal polo A e si avvicinava al polo B.

Questi due effetti fanno nascere due correnti successive di ugual senso, ma di senso contrario a quelle che si producono nel medesimo tempo nel primo rocchello. Però, in causa del modo inverso secondo il quale è avvolto il filo sui rocchelli, queste correnti, quando entrano nel circuito esterno, assumono uguale direzione di quelle provenienti dal primo rocchello. In definitiva si vede come, durante una mezza rivoluzione del sistema, tutte le azioni induttrici concorrono nel lanciare nel circuito esterno una corrente di senso determinato; evidentemente, nella semi rivoluzione successiva il senso sarà cambiato. Continuando dunque il moto di rotazione, il circuito esterno sarà attraversato da una serie di correnti, dirette alternativamente in un senso e nell' altro, cambiando di senso ad ogni mezza rivoluzione dei rocchelli.

Per mezzo di un commutatore, rappresentato in prospettiva nella figura 531, si possono raddrizzare le correnti e farle circolare all'esterno in un senso unico. A tal uopo, sulla superfice isolante dell' asse son disposte due mezze viere E, E', separate l'una dall'altra da due porzioni, che si trovano nel medesimo piano dei due assi dei rocchelli. Una di queste mezze viere comunica col collare e, che è uno dei poli dell'apparecchio, per mezzo delle mollette, l'altro è, per mezzo di una vite, in comunicazione permanente coll'asse. Le due mollette r, r', stabilite

sulle linguette O ed O', appoggiano costantemente sulle viere; è dunque facile l'intendere come, al momento in cui la corrente cambia di senso, le mollette cambiano di viera, e quindi la direzione della corrente nel circuito esterno rimane costante.

Colla macchina di Clarke si può decomporre l'aqua, arroventare un filo metallico, animare un'elettromagnete, ecc. Però, colle dimensioni che queste macchine hanno ordinariamente nei modelli che si vedono nei gabinetti di fisica, gli effetti ottenuti sono di intensità assai mediocre, ed hanno un carattere puramente dimostrativo.

Quando si voglia applicare la macchina di Clarke alla produzione di commozioni, si fissano in N ed N' dei fili metallici terminati da impugnature, che l'osservatore tiene nelle mani, avendo la precauzione di umettarle dapprima con

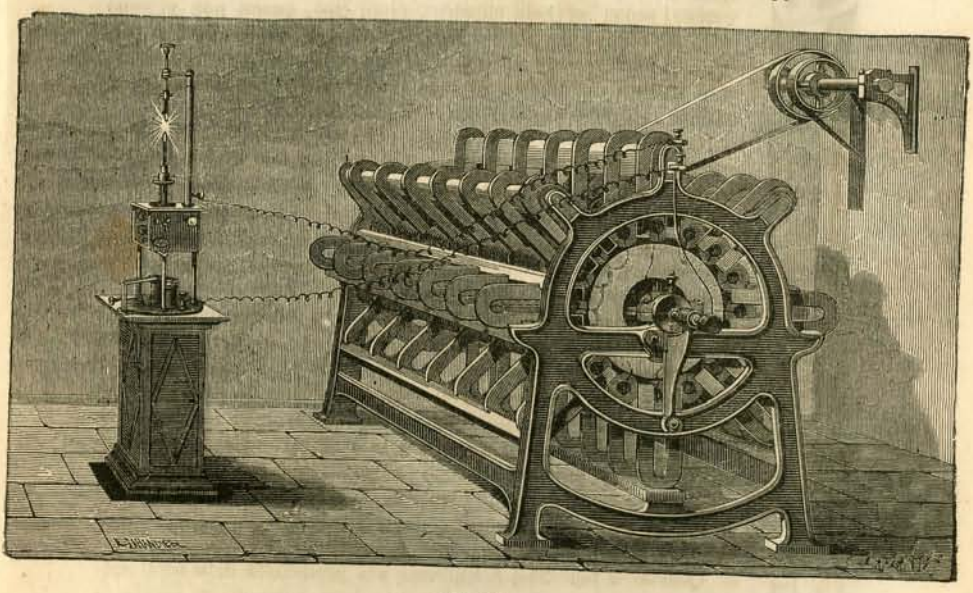


Fig. 554.

aqua acidulata; sulla banchetta si aggiunge una terza molletta che va ad appoggiarsi sulle piastrine che si trovano sui prolungamenti delle viere E ed E'. Quando una di queste piastrine si trova in contatto colla terza molletta, la corrente si chiude direttamente e cessa di passare pel corpo dell'osservatore; si ha dunque un'interruzione, accompagnata da extracorrente; questa produce la commozione.

618. Macchine magneto elettriche dei fari. — Per ottenere colla macchina di Clarke effetti intensi, suscettibili di applicazioni pratiche, bisogna dare all'apparecchio grandi dimensioni, ed imprimere al sistema delle eliche un rapido moto di rotazione. È appunto questo il principio della macchina magneto elettrica, immaginata in origine dal prof. Nollet di Bruxelles nel 1850, e che vien costruita nelle officine della compagnia l'Alliance. Queste macchine vengono applicate alla produzione della luce elettrica dei fari dell'Havre; del resto esse sono capaci di applicazioni diverse, ed in particolare possono servire alla produzione dell'elet-

tricità necessaria al funzionamento di un'officina di galvanoplastica. La figura 554 rappresenta una vista prospettica della macchina, della quale ecco una descrizione succinta. Si compone di otto serie di fasci magnetici, disposti alla superfice di un castello ottangonale in ghisa; queste magneti sono disposte in modo che, nella serie lineare dei poli, tanto presa parallelamente all'asse del castello, come sulla circonferenza perpendicolare all'asse stesso, i poli riescano alternativamente di senso opposto.

Fig. 555.

Nell'intervallo lasciato fra due serie circolari di magneti, son disposti dei cilindri di bronzo, montati su di un' asse, il quale, da un motore a vapore riceve, per mezzo di coreggie di trasmissione, una velocità di rotazione, ordinariamente di 350 giri al minuto. Alla superfice di ciascuno di tali cilindri sono disposte, coll'asse orizzontale, sedici rocchelli cilindrici, tanti, cioè, quanti poli vi sono nella serie circolare delle calamite. Il nucleo dei rocchelli è formato da un cilindro di ferro dolce, fesso su tutta la sua lunghezza; si è trovato che questo artificio rende più rapida la smagnetizzazione al cambiare del senso dell'influenza.

Da queste disposizioni consegue, che ciascun rocchello ha le sue estremità affacciate ai poli contrari di due magneti e che, nel suo moto di rotazione, ciascuna delle estremità passa successivamente da un polo all'altro della serie circolare delle magneti.

Si supponga che i rocchelli, essendo esattamente affacciati alle superfici polari, la ruota giri $^1/_{16}$ di circonferenza; ciascun ferro dolce si magnetizzerà nella prima metà e si magnetizzerà seconda metà di questa escursione; ne risulteranno dunque due correnti di ugual senso in ciascuna elica, e quindi, in causa della disposizione alterna degli organi, delle correnti di ugual senso in tutte le eliche; all' $^1/_{16}$ di giro seguente, le correnti saranno tutte rovesciate. Con un opportuno collegamento delle eliche, tutte queste correnti vengono a riunirsi; tutte le estremità positive dei rocchelli sono in comunicazione coll' asse della macchina, tutte le estremità negative comunicano con un manicotto concentrico all'asse, e separato da questo con una sostanza isolante; son questi i due poli della macchina i quali fanno capo al circuito esterno.

Quando la macchina è applicata alla produzione della luce elettrica, non occorre il raddrizzamento delle correnti; se invece la si vuol applicare ad un' officina di galvanoplastica, bisogna far uso di un commutatore, analogo a quello della macchina Clarke.

Le macchine impiegate all'Havre per l' illuminazione dei fari son poste in movimento da un motore di tre cavalli di forza.

619. Rocchello di Siemens. — La macchina di Clarke ha subìto, per parte del signor Siemens di Berlino, un perfezionamento assai importante che ne accresce notevolmente la potenza, e che consistente in una speciale disposizione dell'elettromagnete. Nella disposizione ordinaria, il nucleo dell' elettromagnete è di necessità assai breve, giacchè bisogna, onde l'induzione si produca, che la distanza dalla magnete induttrice non sia troppo grande. Non si potrebbe nemmeno, per l' identica ragione, aumentare notevolmente la lunghezza del filo conduttore, giacchè, a misura che lo spessore va aumentando, la distanza dalla regione polare aumenta pure, e l' azione induttrice si indebolisce. Ad eludere queste difficoltà il signor Siemens forma i nuclei dell'elettromagnete con un cilindro di ferro *a b* (fig.

556) la di cui superfice presenta due profonde incavature parallele all' asse; gli è in questa doppia cavità che è avvolto il filo conduttore, parallelamente alla lunghezza stessa del cilindro. Le estremità di questo sono avvitate nelle guarniture metalliche *A B*, *M N*, che portano gli assi di rotazione, e gli organi del commutatore. La figura 555 rappresenta la disposizione esterna del rocchello.

Il vantaggio di questa disposizione è ragguardevolissimo; il rocchello di Siemens, essendo di piccolo volume, può porsi fra le regioni polari delle magneti a ferro di cavallo; d'altronde, per la sua forma, il rocchello può ricevere una velocità di rotazione notevole, che permette di moltiplicare il numero delle correnti indotte. Il senso di queste correnti cambia però ad ogni mezza rivoluzione, come nella macchina Clarke; le si raddrizzano per mezzo di un commutatore, analogo a quello della macchina Clarke stessa (fig. 557). Una delle estremità del filo conduttore è fissato al nucleo stesso del rocchello, e comunica quindi coll'asse di rotazione; l'altra estremità comunica con una viera, isolata da una lamina non conduttrice. Le macchine Siemens danno, con dimensioni ben inferiori, effetti assai superiori a quelli della macchina Clarke.

620. Macchina di Wilde. — Si imagini che, invece di utilizzare direttamente la

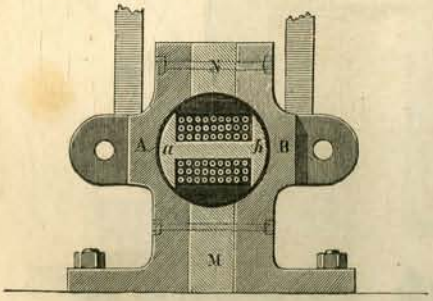


Fig. 556.

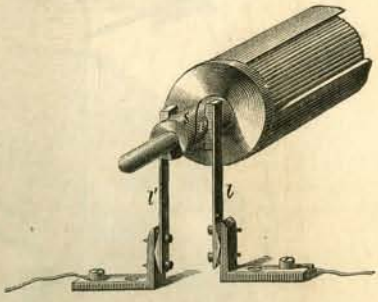


Fig. 557.

corrente del rocchello, nella macchina Siemens, la si impieghi ad animare un'elettromagnete; si potrà con questa ottenere una forza magnetica assai più intensa di quella che agisce nella magnete induttrice. Si ponga allora tra i poli dell'elettromagnete un secondo rocchello, al quale si comunichi un rapido moto di rotazione; in esso si potranno così ottenere delle correnti di assai grande intensità; questo è appunto il principio della macchina ideata dal signor Wilde di Manchester. La figura 558 rappresenta la disposizione di questa macchina, letteralmente formata da due macchine Siemens sovrapposte. La macchina superiore è costituita da un fascio magnetico fisso *M*, i di cui poli sono appoggiati a due armature in ferro dolce *m* ed *n*, separate da una lastra di ottone *o*; in questa massa di metallo è praticata una cavità cilindrica, nella quale gira una bobina Siemens *r*. La corrente prodotta nella bobina, dopo raddrizzata dal commutatore, si porta ai serrafili *p* e *q*, e da questi all'elettromagnete *A B*. Questa è formata da due lastre di ferro, riunite alla loro parte superiore da una lastra di ferro, che serve di supporto alla prima macchina. Le estremità inferiori di questa elettrocalamita si appoggiano sulle armature *C*, separate dalla massa d'ottone *i*; all'interno di questo sistema gira secondo il rocchello *F*, il di cui diametro è pressochè triplo di quello del rocchello superiore; la corrente utilizzata nel circuito esterno, è quella appunto

fornita dal rocchello *F*. La macchina di Wilde produce effetti calorifici e luminosi di notevole intensità, a condizione però di comunicare ai rocchelli grandi velocità, che possono giungere a 1500 giri al minuto pel grande rocchello, e 2000 pel piccolo; ed è questo un grave inconveniente.

Si potrebbe spingere oltre il principio della macchina di Wilde, e servirsi della

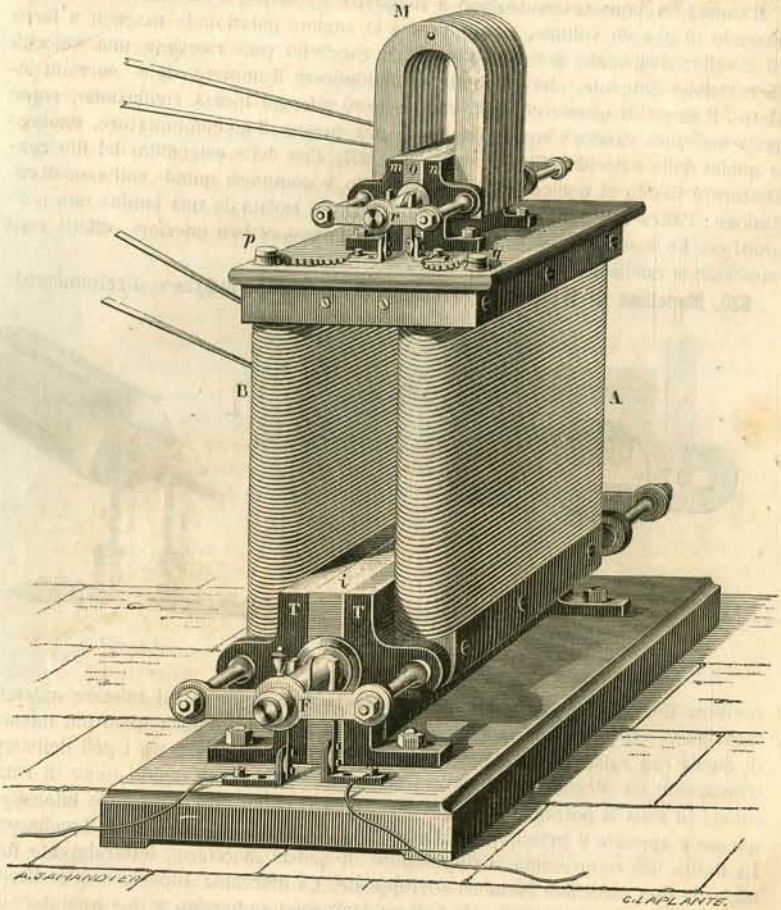


Fig. 558.

corrente del secondo rocchello per animare una seconda elettro-magnete, più gagliarda della prima, fra i poli della quale si muoverebbe un terzo rocchello. È appunto ciò che venne attuato da Wilde. Con questa macchina tripla, che esigeva la forza di 15 cavalli per esser mantenuta in moto, la corrente poteva mantenere la luce elettrica in una lampada a carboni grossi come un dito, e fondeva rapidamente una spranga di platino di 2 piedi di lunghezza, ed un quarto di pollice di diametro (1).

(1) Bertin. *Annales de Physique et de Chimie*, 4ª serie, t. XV, pag. 176.

621. Macchine dinamo-elettriche. — Il punto di partenza della macchina Wilde è una magnete fissa; si potrebbe immaginare che fosse invece un elettro-magnete, facente parte di una serie, della quale il primo termine sarebbe una magnete di intensità insignificante, come quella, per esempio, che esiste nel ferro dolce delle elettrocalamite, dopo che vi si è fatta passare una corrente. Si è dunque condotti ad ammettere che si possa sopprimere la magnete e produrre la corrente colla sola rotazione. Questo interessantissimo risultato venne ottenuto dal signor Siemens durante l'anno 1866. La macchina costrutta da Siemens ricevette il nome di macchina *dinamo-elettrica*, denominazione adatta e che richiama la conversione della forza in elettricità. La disposizione adottata non è pero quella sopra indicata, all'uopo di far comprendere la possibilità di macchine di questo genere. Invece di moltiplicare l'azione magnetica col trasportare la corrente da un'elettro-magnete

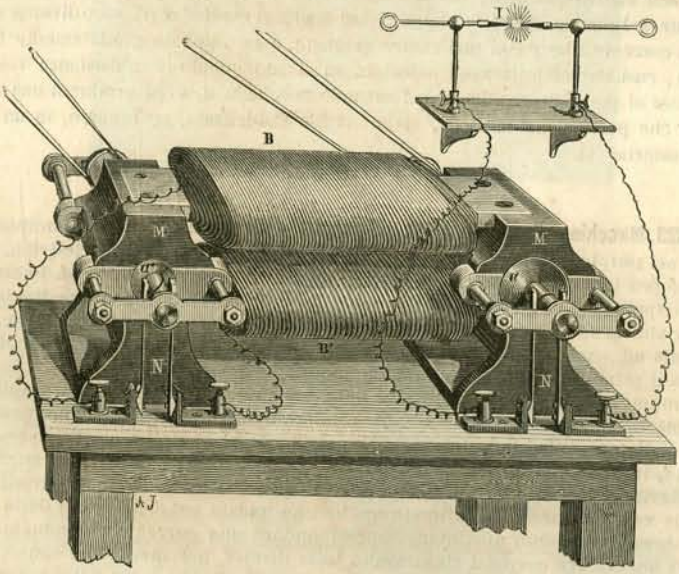


Fig. 559.

ad un'altra, si può giungere allo stesso scopo, facendola circolare successivamente nella stessa elettro-magnete. Perciò, la corrente generata nel rocchello dal debole magnetismo posseduto dal nucleo dell'elettro-magnete, passa nell'elettro-magnete stessa, e ne aumenta l'intensità; alla mezza rivoluzione seguente si ha dunque una corrente più intensa, che aumenta di nuovo la forza dell'elettro-magnete, e così di seguito, fino ad un certo limite, che dipende evidentemente dalla velocità di rotazione. Questa è appunto la disposizione della macchina Siemens, che figurò all'esposizione del 1867 (Parigi) e che era specialmente destinata all'accensione delle mine.

622. Macchina di Ladd. — Il signor Ladd, costruttore inglese, nel 1867 fece conoscere una macchina dinamo-elettrica fondata sullo stesso principio di quella del signor Siemens, ma con una importante miglioria. Invece di utilizzare la corrente dell'elettro-magnete, facendo uso di un interruttore, il signor Ladd si servì di un

secondo rocchello, posto in rapporto continuo col circuito esterno. L'apparecchio è formato da due lastre di ferro *B*, *B'*, sulle quali è avvolto un filo conduttore, le di cui estremità corrispondenti alla parte destra della figura 539, sono riunite in modo da formare un circuito unico; gli altri due capi vanno a fissarsi a due serrafili in relazione coi poli di un rocchello di Siemens *a'*. Il filo stesso poi, è avvolto in modo che, pel passaggio della corrente, le estremità prossime assumono una polarità contraria. Queste estremità si fissano a masse polari di ferro dolce *MM*, *NN*, entro le quali si muovono i due rocchelli. Le estremità dei fili del rocchello di destra *a*, sono in relazione con un circuito esterno, nel quale si trovano, per esempio, i carboni per la luce elettrica.

Dopo le precedenti spiegazioni, il giuoco della macchina Ladd riesce facile da comprendersi. Si supponga che si faccia passare per qualche momento una corrente nell'elettro-magnete; cessata la corrente si ha un leggero magnetismo rimanente nel nucleo. Se si fa allora girare il primo rocchello *a'*, esso diventa sede di una corrente, che passa nell'elettro-magnete, e ne aumenta gradatamente l'intensità, così da renderla assai notevole, se il movimento è abbastanza veloce. Se allora si pone in movimento il secondo rocchello *a*, vi si produrrà una corrente, che potrà venir lanciata, dopo averla raddrizzata, se occorre, in un circuito esterno (1).

(1) **623. Macchina dinamoelettrica di Pacinotti e Gramme.** — Il prof. Pacinotti di Pisa, nel 1861, immaginò e fece costruire una macchina magneto-elettrica, fondata sopra una disposizione affatto originale. Il concetto del prof. Pacinotti venne ripreso nel 1871 dal signor Gramme, il quale portò la macchina Pacinotti ad un alto grado di perfezione, e la rese praticamente utile all'industria, per la facile ed economica produzione della corrente elettrica. Ecco succintamente il principio della macchina Pacinotti.

Si immagini una spranga rettilinea magnetizzata, ed una breve spirale di filo conduttore, disposta col suo asse sul prolungamento dell'asse della magnete, ed a poca distanza da uno dei poli di questa. Se si avvicina a questo polo la spirale, in questa si produrrà, come si è visto al paragrafo 608, una corrente di induzione. Se si continua, con movimenti successivi, a far progredire la spirale verso la magnete, in modo anche che questa entri nel vano della spirale stessa, a ciascun movimento corrisponderà una corrente di induzione, e queste successive correnti riesciranno tutte dirette nel medesimo senso, fino a che la spirale sia giunta in corrispondenza alla linea neutra della magnete; se il movimento continua, si ha una nuova serie di correnti indotte, ma dirette in senso contrario alle prime.

Si supponga ora di ripetere la prova con due spranghe magnetiche uguali, disposte una sul prolungamento dell'altra, e toccantesi pei poli omonimi; si capisce allora facilmente, dietro quanto si è detto sopra, che la spirale, nel suo progredire sulle magneti, sarà percorsa da una corrente, positiva, durante il primo quarto del suo cammino, da una corrente negativa durante il secondo quarto, da una nuova corrente negativa durante il terzo quarto, e, finalmente, da una nuova corrente positiva, durante l'ultimo quarto del cammino: si osserva dunque un cambiamento di senso della corrente, in corrispondenza alla posizione delle due linee neutre delle magneti.

Se invece di due magneti rettilinee si prendessero due magneti semicircolari uguali, messe a contatto pei poli omonimi, e, sull'anello così formato, si facesse scorrere la spirale, si ripeterebbero in modo continuo le fasi ora citate: i punti neutri delle due magneti si troverebbero agli estremi del diametro perpendicolare a quello passante pei poli.

624. Magnetismo di rotazione. — L' induzione elettromagnetica rende facilmente conto del fenomeno scoperto da Arago nel 1824, e rimasto per molto tempo

Per formarsi un'idea dell'organo esenziale delle macchine Pacinotti e Gramme, si consideri un'anello di ferro dolce, sul quale sia avvolto un filo di rame, isolato, a spirale continua e rientrante in sè stessa. Il filo sia posto a nudo sul convesso più esterno dell'anello, così da formare una spece di stretta listerella, lungo tutta la circonferenza: due contatti metallici *M* ed *M'* (fig. 560) sono applicati alla parte denudata, in punti diametralmente opposti.

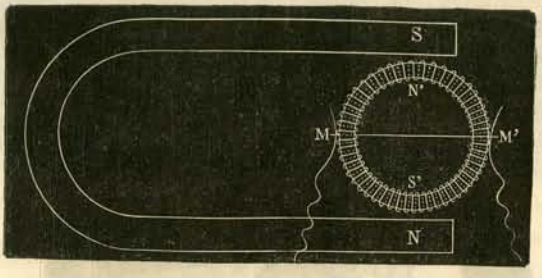


Fig. 560.

Se si pone fra i poli *N* ed *S* di una calamita permanente l' anello di ferro dolce, questo si magnetizza per influenza, e si producono in esso due poli *N'*, *S'*, opposti ai poli *S*, *N* della magnete. Se l' anello gira intorno al proprio centro, i poli in esso producentisi, resteranno, ciononpertanto, sempre di contro ai poli della magnete; vale a dire, che si sposteranno nel ferro dolce stesso, con una velocità uguale e di senso contrario a quella da cui è animato l'anello: i poli rimangono dunque fissi nello spazio, e le cose passano come se, ciascuna parte dello spirale, venisse successivamente a passare innanzi a loro. Eccoci dunque, considerando un solo elemento della spirale, precisamente nelle condizioni del caso supposto dapprincipio. Siccome tutti gli elementi della spirale sono sede dello stesso fenomeno, ne consegue, che tutta la parte di spirale posta al disopra della linea *M M'*, sarà percorsa da una corrente di un certo senso, e tutta la parte di spirale al disotto di questa linea, sarà percorsa da una corrente di senso inverso a quello della precedente. Queste due correnti sono evidentemente uguali e di sensi contrari, e si fanno quindi equilibrio. I due semianelli *M N M'*, *M S' M'*, colle rispettive parti di spirale, possono dunque paragonarsi a due coppie voltaiche, riunite pei poli omonimi, cosichè, congiungendo i punti *M* ed *M'* con un circuito, questo sarà percorso da uua corrente; è appunto questo l' ufficio dei contatti *M*, *M'*. Gli è poi facile di con-

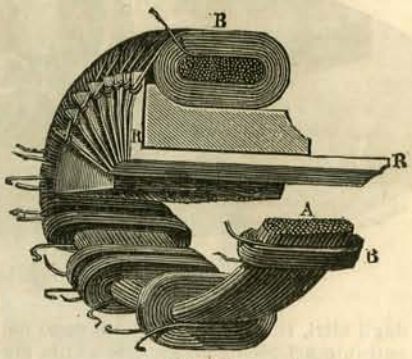


Fig. 561.

senza spiegazione, vale a dire il fenomeno conosciuto col nome di magnetismo di

vincersi, che le correnti indotte direttamente nella spirale dall' azione della magnete permanente, fatta astrazione dall' anello di ferro dolce, riescono di senso uguale a quello prodotte da questo.

L'anello del rocchello anulare della macchina Gramme (fig. 561) è formato con fili di ferro dolce, allo scopo di rendere più rapido il fenomeno di magnetizzazione e smagnetizzazione. Il filo di rame non è avvolto in modo continuo sull'anello, ma vi forma, invece, come tanti rocchelli separati, in ciascuno dei quali si produce la corrente indotta. Per maggior intelligenza, questo organo esenziale venne rappresentato completo in una sola parte; in un'altra parte, sopra due rocchelli, non se n'è rappresentato che uno; in un'altra parte, finalmente, l'anello venne lasciato a nudo e spaccato. I pezzi *R*, isolati gli uni

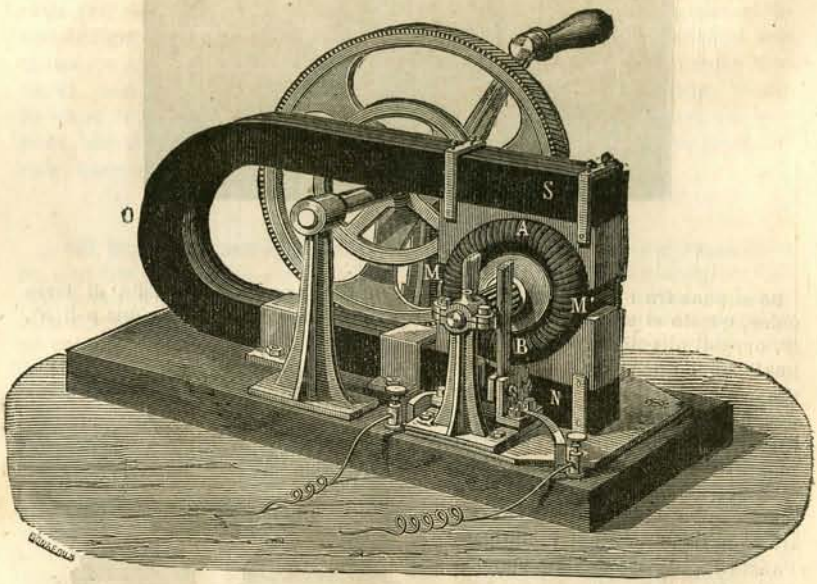


Fig. 562.

dagli altri, ricevono ciascuno il capo del filo uscente da un rocchello, e quello entrante nel rocchello successivo: le correnti vengono quindi raccolte sopra i pezzi *R* i quali, piegandosi ad angolo retto, escono dall'altra banda dell'anello, parallelamente all'asse di questo; sempre isolati, si avvicinano così da formare un cilindro di piccolo diametro, come ben si vede nella figura 562. I due contatti o *scopette*, formati da un fascio di fili metallici, toccano questo cilindro in due punti, posti in un piano perpendicolare alla linea dei poli *A* e *B*, vale a dire in relazione coi punti neutri *M*, *M'* dell' anello. Posto questo in rotazione, si otterrà dunque una corrente continua, e perchè continuo ne è il movimento prudottore, e perchè la flessibilità degli strofinatori, dovuta al modo con cui sono formati, permette loro di porsi in contatto con uno dei pezzi *R*, prima ancora di aver abbandonato il precedente. Il senso della corrente cambia naturalmente col senso della rotazione, e la intensità della corrente stessa, riesce proporzionale alla velocità della rotazione.

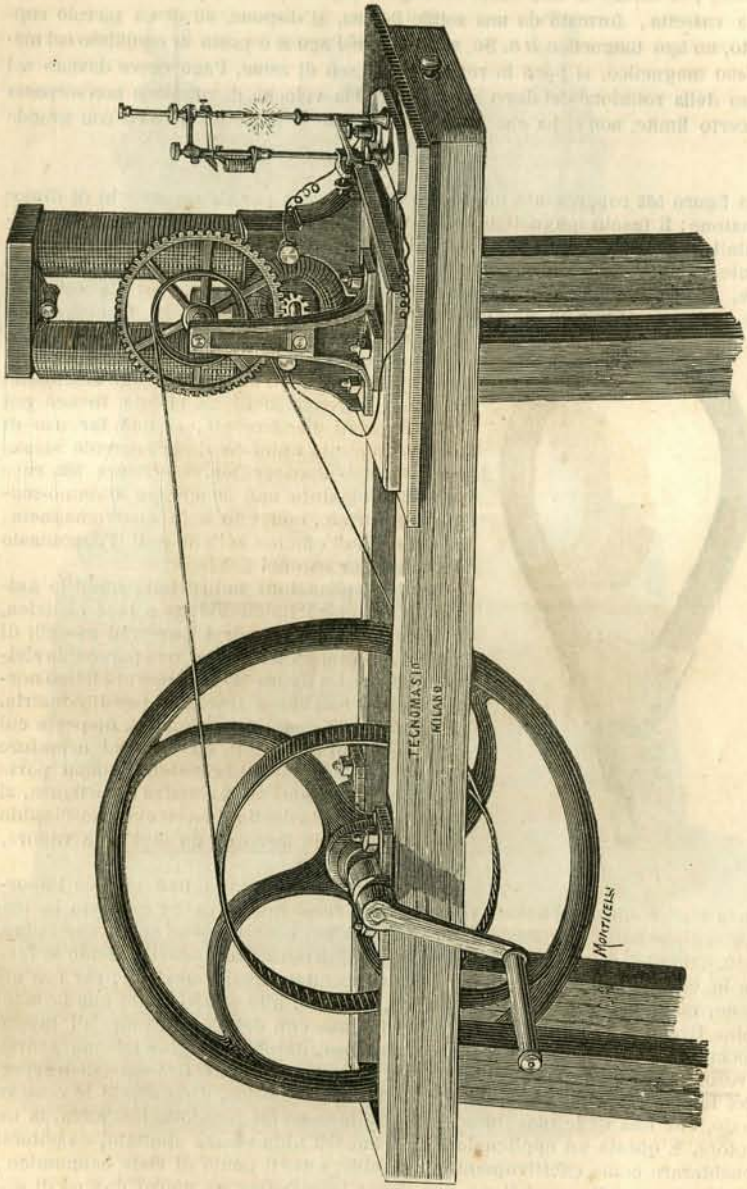


Fig. 563.

rotazione. Un disco di rame, posto in una cassetta, riceve un rapido moto di rotazione, per mezzo di due ruote ad angolo (fig. 566). Al disopra del coperchio della cassetta, formato da una sottile lamina, si dispone, su di un piccolo supporto, un ago magnetico *a a*. Se, allorquando l'ago si è posto in equilibrio nel meridiano magnetico, si pone in rotazione il disco di rame, l'ago riesce deviato nel senso della rotazione del disco stesso. Finchè la velocità di rotazione non sorpassa un certo limite, non si ha che deviazione, ma, se si fa girare il disco con grande

La figura 562 rappresenta una disposizione usata per gli apparecchi di dimostrazione: il fascio magnetico è disposto in un piano verticale, e coi rami orizzontali. In altri modelli è fatto uso di una magnete Jamin, disposta verticalmente. La magnete Jamin (fig. 564) è costituita da molte lamine magnetizzate, di piccolo spessore, poste di fianco l'una all'altra, così da ottenere una notevole intensità magnetica, senza che lo spessore del fascio riesca troppo forte. Per le esperienze di gabinetto, in sostituzione delle pile, si costruiscono macchine analoghe, poste su di un banco, e che si tengono in moto per mezzo di un pedale. Invece poi delle magneti permanenti, si può far uso di elettromagneti, animate dalla corrente stessa prodotta dell'apparecchio. La figura 563 rappresenta appunto una macchina dinamo-magneto-elettrica, con una sola elettromagnete, costruita dall'officina milanese il Tecnomasio Italiano, per uso dei gabinetti.

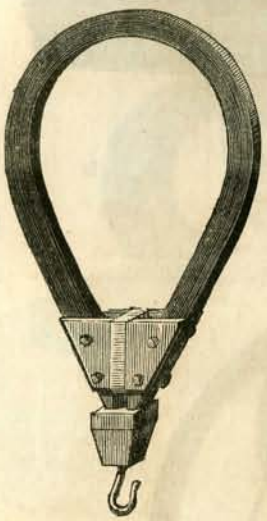


Fig. 564.

Per le applicazioni industriali, quali la galvanoplastica e l'illuminazione a luce elettrica, il signor Gramme costruì parecchi modelli di macchine dinamoelettriche, con parecchie elettromagneti. La figura 565 rappresenta il tipo normale della macchina Gramme per l'industria. È formato da due elettromagneti, disposte coi poli omonimi affacciati, ed uniti ad armature di ferro dolce, che abbracciano buona parte del rocchello anulare. A sinistra della figura, si vede la puleggia destinata a ricevere la cinghia che trasmette la forza di un motore a vapore, o di altra natura.

Queste macchine hanno una grande importanza anche sotto il punto di vista teorico, riescendo in esse manifesta la trasformazione del lavoro meccanico in elettricità. Esse possono anche dar luogo, naturalmente, alla trasformazione inversa, diventando motori, quando si faccia in esse passare la corrente. Questa seconda trasformazione, per ora almeno, non presenta vantaggio pratico, giacchè, allo stesso modo che la macchina Gramme fornisce una corrente intensa con debole consumo di lavoro meccanico, con una corrente anche intensa, darebbe origine ad uno scarso lavoro meccanico. Si potrebbe ideare, con due macchine Gramme, di trasportare facilmente, ed a grande distanza, la forza motrice, disponendo le cose in modo, che una delle macchine ricevesse la corrente, prodotta nell'altra da un motore. È questa un applicazione non ancora abbastanza studiata, da potersi considerare come effettivamente praticabile sotto il punto di vista economico, è però un concetto grandioso, che lascia intravedere un nuovo campo di applicazioni all'industria.

AGGIUNTA DEL TRADUTTORE.

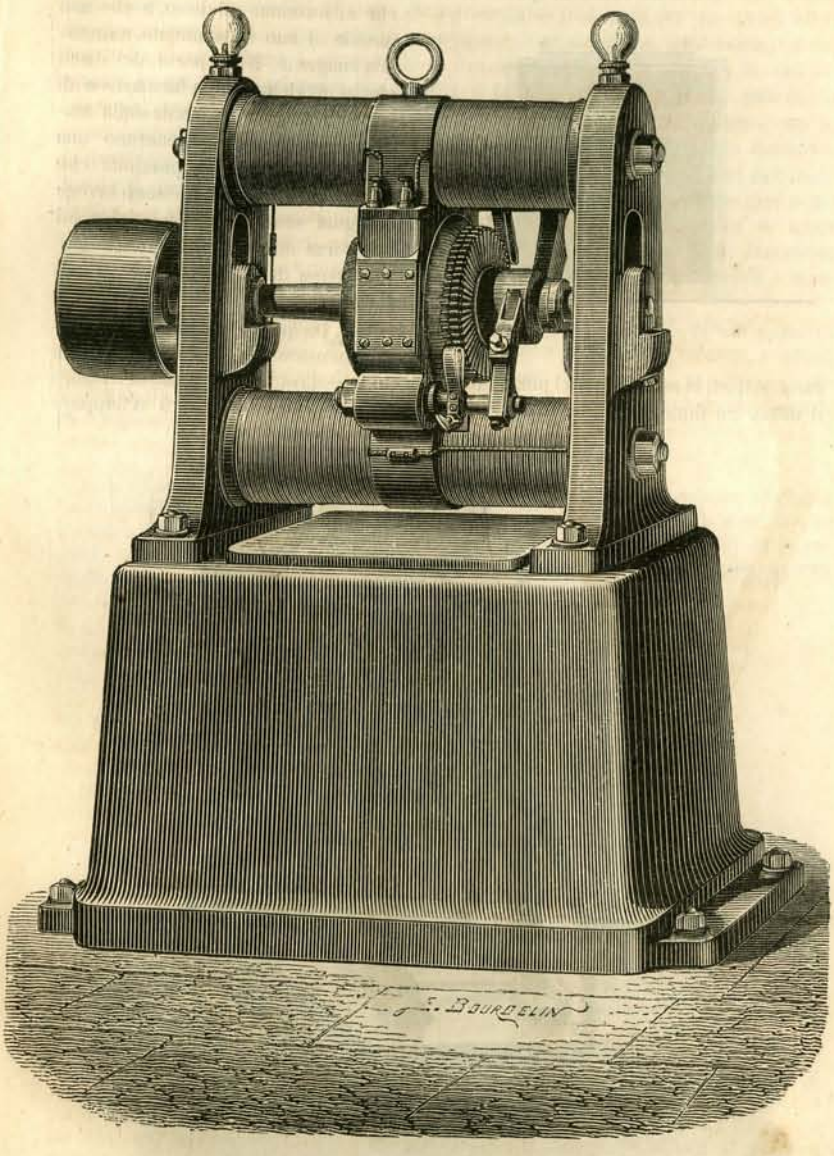


Fig. 565.

velocità, l'ago è trascinato, e si pone a girare più o meno rapidamente nel senso stesso del disco. La causa di questo movimento va attribuita alle correnti indotte che si formano sul disco, e che son dovute al suo spostamento rispetto alla magnete. Nella parte del disco che si avvicina, si ha formazione di correnti contrarie a quella della magnete, correnti che generano una forza ripulsiva; nella porzione che si allontana, le correnti sono invece di ugual senso e danno origine ad una forza attrattiva; da questa doppia azione deriva il movimento dell'ago.

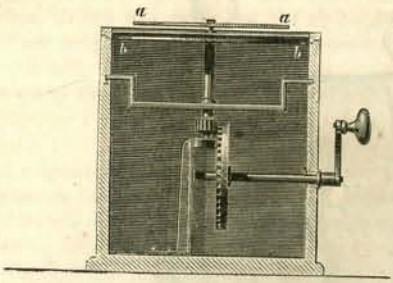


Fig. 566.

625. Da questo fenomeno si è indotti a pensare che, qualora un disco di rame si trovi in rotazione tra i poli di una magnete, questa agirà nel senso di fermare il disco. Se dunque si vorrà mantenere in rotazione il disco, si dovrà sviluppare

Fig. 567.

un certo lavoro. Questo fatto si trova verificato in una esperienza immaginata da Focault. L'apparecchio è formato (fig. 567) da un disco di rame rosso il quale, per mezzo di un sistema di ruote di ingranaggio, può ricevere un velocissimo moto di rotazione. L'apparecchio è costruito con grandissima perfezione, ed occorre un piccolo sforzo a mantenerlo in movimento. Il disco gira fra le due armature di un elettromagnete. Se mentre si fa girare il disco, si fa passare la corrente, le armature si magnetizzano e ne risulta, fra loro ed il disco, un' azione proveniente dalle correnti sviluppate su quest' ultimo. Da questo momento si prova una resistenza notevole e si deve sviluppare un grande sforzo per mantenere il disco in rotazione. Se l'esperienza viene prolungata durante due o tre minuti, si sarà sviluppato un lavoro notevole, epperò questo lavoro si trova sotto un'altra forma. Infatti, il disco si sarà scaldato a 50° o 60°. Questo fenomeno calorifico è una prova evidente della trasformazione del lavoro necessario a mantenere in movimento l'apparecchio.

Si può dare all'esperienza un'altra forma assai istruttiva, sotto questo punto di vista. Interrotta la corrente, si comunichi al disco una grandissima velocità, e quindi lo si abbandoni a sè stesso; si faccia allora passare la corrente; se questa è abbastanza intensa, il disco si ferma ad un tratto e si può constatare un elevamento di temperatura (1).

(1) L' elevamento di temperatura riesce, in questo caso, assai debole, in causa delle condizioni stesse dell'esperienza; riuscirebbe invece assai notevole se il corpo in moto possedesse una gran massa ed una gran velocità. Al paragrafo 401 si è accennato, in proposito, agli effetti che deriverebbero, se la terra cessasse di muoversi nella sua orbita.

LIBRO IV

ACUSTICA

CAPITOLO I.

PRODUZIONE E PROPAGAZIONE DEL SUONO.

626. Il suono è vibrazione. — Il suono ed il rumore sono impressioni di natura speciale, che l'orecchio percepisce nelle diverse loro gradazioni, alla stessa guisa che l'occhio percepisce i colori. Qualunque spiegazione intorno al carattere di queste impressioni, che hanno tanta importanza nella nostra esistenza, sarebbe superflua; a noi spetta unicamente di farne conoscere le condizioni fisiche. È facile di mostrare, con esperienze assai diverse, che il suono è il risultato di un movimento particolare, detto moto vibratorio.

Fig. 568.

Si supponga, per esempio, che tra le ganasce di una morsa (fig. 568) si fissi una delle estremità C di una lamina elastica CD, che se ne porti l'estremo superiore da D in D', e poscia lo si abbandoni a sè stesso. In causa della sua elasticità (13) la lamina ritornerà alla sua posizione primitiva; in causa però della velocità aquisita, non si fermerà in questa posizione, ma arriverà in D'', ed eseguirà intorno a CD una serie di oscillazioni, la di cui ampiezza anderà gradatamente diminuendo, oscillazioni che finiranno per cessare dopo un tempo più o meno lungo. Ecco in cosa consiste il

moto vibratorio. L'escursione da D in D'', o da D'' in D', dicesi una *vibrazione* od un'*oscillazione*; si designa qualche volta sotto il nome di *vibrazione*, od *oscillazione completa*, il doppio movimento di andata e ritorno. Queste vibrazioni son dovute alla elasticità della sostanza che costituisce la lamina, ed hanno qualche analogia colle oscillazioni del pendolo; come queste, infatti, sono isocrone, qualunque ne sia l'ampiezza. Si osservi, in proposito, che le oscillazioni del pendolo non sono che approssimativamente isocrone, mentre l'isocronismo delle vibrazioni dei corpi elastici è rigoroso.

Finchè la lamina è abbastanza lunga, le vibrazioni si compiono

Fig. 569.

con una certa lentezza, e si possono seguire cogli occhi; ma, man mano che si raccorcia la lamina, il movimento vibratorio diventa sempre più rapido, e giunge un momento in cui non è più percettibile alla vista. Ma quando cessa, per così dire, l'ufficio dell'occhio, incomincia quello dell'udito, e l'orecchio intende un suono perfettamente netto, la di cui natura dipende dalle condizioni fisiche del corpo vibrante.

Questa esperienza ci mostra che un movimento vibratorio può produrre un suono, a condizione però che tal moto sia abbastanza rapido. Nelle esperienze seguenti si constata, in diverse maniere, che il modo speciale di scuotimento che fa risuonare un corpo, consiste precisamente in un moto vibratorio.

Vibrazione di una campana. — Se si strofina con un archetto il lembo di una campana (fig. 569), in contatto alla quale è sospesa una sferetta d'avorio a, questa oscilla durante tutto il tempo per cui dura il suono. Basta, del resto, appoggiare leggermente la mano

sulla campana, per sentire un fremito caratteristico; se si preme con forza, il moto vibratorio scompare insieme al suono.

Vibrazione di una lamina. — Sulla superfice di una lamina si sparge della finissima sabbia, e quindi si sfrega il lembo della lamina stessa con un archetto (fig. 570). Appena che il suono si fa udire, si vede la sabbia saltellare, sfuggire da certe parti della lamina, e raccogliersi sopra certe linee, dette *linee nodali.* Son queste le linee intorno alle quali accadono i movimenti vibratori inversi, delle parti vicine. La loro disposizione cangia colla natura del suono prodotto; comunque sia, il movimento della sabbia accusa sempre lo stato di vibrazione, al quale è dovuto il fenomeno sonoro.

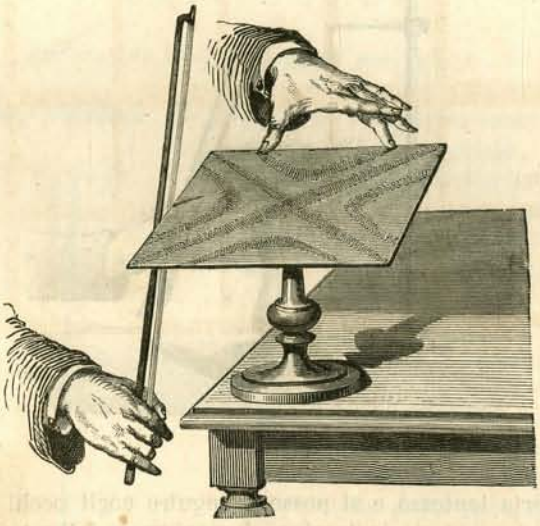


Fig. 570.

Questo stato vibratorio si manifesta anche in un altro modo curioso. Se alla sabbia comune si mescola una polvere finissima, come quella di licopodio, questa si accumula nelle parti comprese fra le linee nodali, e la si vede raccogliersi in piccoli mucchi, che sono poi anche in continuo movimento giratorio. È questo un effetto dovuto all'aria esterna che, continuamente scossa dalla lamina, finisce per assumere un movimento vorticoso, che trascina la polvere fina, ma che è incapace di spostare la sabbia. Nel vuoto il licopodio sta riunito alla sabbia. La figura 571 rappresenta alcune fra le moltissime figure, che si possono ottenere con una lamina quadrata, abbastanza grande, a seconda dei punti che si sfregano e si tengono fissi.

Vibrazione di una corda. — Quando si scuote una corda in modo

da farla suonare, la si pone in uno stato vibratorio, reso sensibile dalla apparenza di fuso allungato, presentata dalla corda stessa,

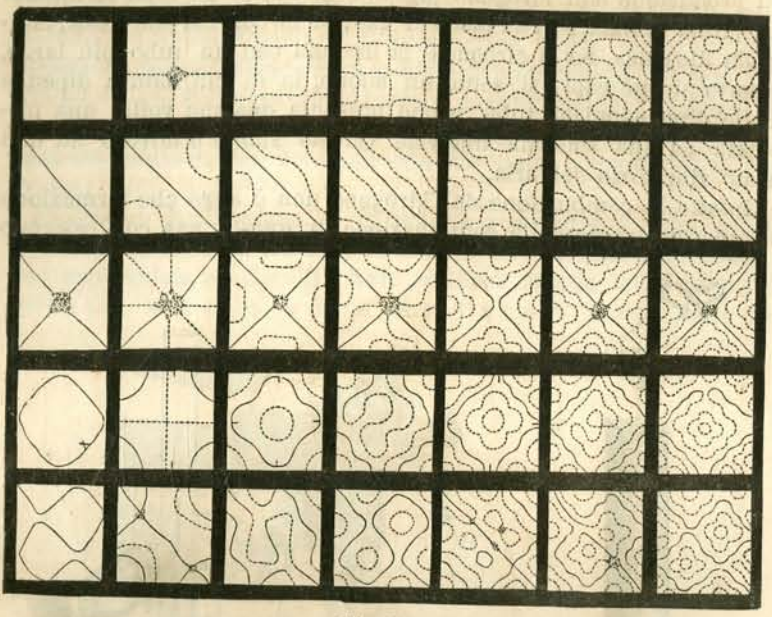


Fig. 571.

(fig. 572). Questa apparenza deriva dalla persistenza delle impressioni luminose sulla retina, e dalla velocità del movimento vibratorio; l'occhio scorge la corda in tutte le sue posizioni ad una volta, giacchè la durata di una vibrazione è minore del tempo pel quale dura l'impressione luminosa.

Fig. 572.

Vibrazioni dell'aria. — Il corpo sonoro può, qualche volta, esser l'aria, come accade appunto nei tubi sonori, dei quali si parlerà più innanzi. È facile di constatare che, quando uno di tali tubi emette un suono, è l'aria che vibra. Si fa perciò uso di un tubo (fig. 573), del quale una parete è in vetro, e permette di vedere nell'interno. Si introduce nella canna una piccola membrana *m*, tesa su di un telaietto, e ricoperta di sabbia fina; questa la si vede projettata in tutti i sensi, e si sente l'urto dei grani che ricadono sulla membrana; tutti questi fenomeni cessano, se si toglie la corrente d'aria che fa suonare il tubo.

Armonica chimica. — Questo stato vibratorio dell'aria si produce anche nell'esperienza dell' armonica chimica. Ad un' apparecchio di produzione dell' idrogeno (fig. 574) si adatta un tubo terminato in punta affilata, e si dà fuoco al gas; si ha così ciò che dicesi, lampada filosofica. Se si circonda la fiamma con un tubo più largo, aperto ai due capi, si sente un suono, la di cui natura dipende dalle dimensioni del tubo, e che presenta, qualche volta, una pienezza ed una sonorità notevole. Questo suono è dovuto ad uno stato vibratorio dell'aria.

Infatto, la combustione dell'idrogeno non è altro che formazione d'aqua, derivante dalla combinazione di questo gas coll' ossigeno

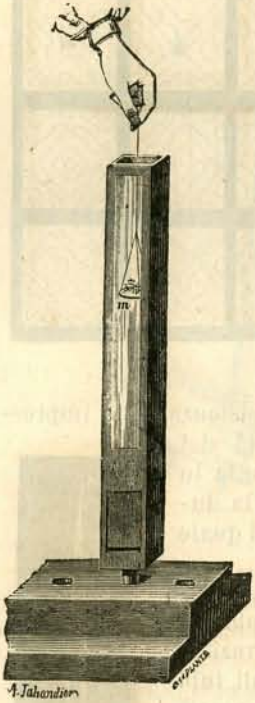


Fig. 573.

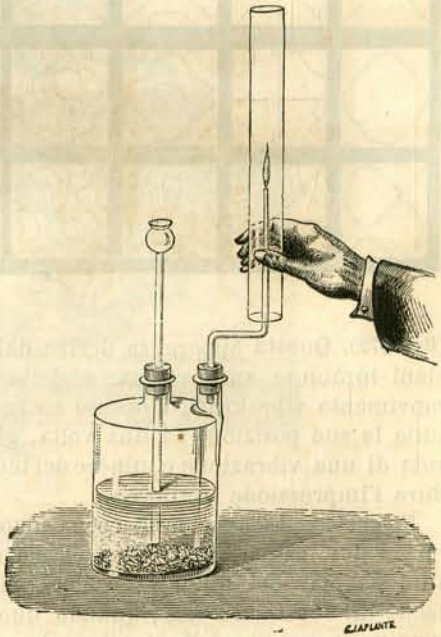


Fig. 574.

dell'aria, e, sebbene il fenomeno apparentemente sembri continuo, pure, veramente, sono porzioni successive d'aqua che si formano, si riducono in vapore alla temperatura elevata della combustione, e si condensano in seguito, più o meno completamente. Nell' aria si ha dunque una serie di movimenti di espansione e di contrazione, vale a dire un vero movimento vibratorio. Questo movimento è attivato dal tubo, il quale produce una corrente d' aria intorno

alla fiamma ed, offre, di più, una massa di gas limitata e più facile, quindi, da porsi in vibrazione. Non è indispensabile di operare coll'idrogeno; l'esperienza può eseguirsi anche coll' ossido di carbonio, il quale, colla sua combustione, fornisce l'acido carbonico; lo stato vibratorio dipende, in questo caso, dalle variazioni successive di temperatura, prima e dopo la combustione. Il semplice efflusso di un fluido potrebbe bastare per determinare il moto vibratorio dell'aria circostante, giacchè, questo efflusso, non è un fenomeno continuo, ma un'espulsione successiva e periodica di particelle.

Esperienza di Trevelyan. — Si prende una massa di rame, avente la forma a mo' di grondaia, e la si fissa all'estremità di un manico ben arrotondato e, dopo di averla scaldata ad una temperatura di 100° e più, la si pone su di un pezzo di piombo. Si sente tosto una

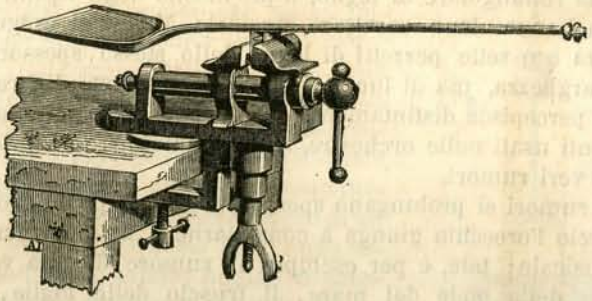


Fig. 575.

nota, generalmente piuttosto acuta. Si può eseguire l'esperienza con una pala da fuoco (fig. 575), che si scalda e poi si pone in equilibrio sopra due lamine di piombo, poste fra le ganasce di una morsa; si vede allora la pala eseguire una spece di altalena, appena percettibile però, per tutto il tempo per cui dura il fenomeno sonoro. Si può rendere questo movimento d' altalena assai sensibile, fissando sulla pala, in qualche sua parte, uno specchietto, sul quale si dirige un raggio di luce; il fascio riflesso va a formare sopra uno schermo un immagine, la quale, per tutta la durata dell'esperienza, eseguisce delle oscillazioni.

Le vibrazioni che si osservano in questa esperienza son dovute all' espansione brusca del metallo freddo. Al momento in cui il piombo è toccato dal corpo caldo, si manifesta una dilatazione, una spece di rigonfiamento, che respinge il ferro; questo tocca allora il piombo in un' altro punto, nel quale si riproduce lo stesso effetto, mentre, il punto primitivamente toccato, si raffredda e ritorna allo stato iniziale. Si ha dunque una serie di dilatazioni e di con-

trazioni successive, vale a dire uno stato vibratorio, che produce appunto il fenomeno sonoro.

627. Differenza tra suono e rumore. — La differenza tra suono e rumore è difficile da precisarsi in modo rigoroso. Ordinariamente diconsi rumori quei suoni che sembrano sprovvisti di quella speciale qualità, che permette di utilizzarli nella musica, e dei quali l'orecchio non sa trovare il posto da attribuirsi loro nella scala musicale. Questa impossibilità è generalmente attribuita al fatto, che il rumore sarebbe, per così dire, un fenomeno istantaneo o, per lo meno, di brevissima durata. Ma, da una parte i musici fanno spesso uso di suoni di durata estremamente breve; dall' altra, ascoltando rumori successivi e di analoga natura, l' orecchio può afferrare fra di essi, gli stessi rapporti dati dai suoni musicali propriamente detti. Se si lascia, per esempio, cadere sul suolo una laminetta rettangolare di legno, si producono degli squilli speciali, che non hanno alcun carattere musicale. Ma, se si eseguisce l'esperienza con sette pezzetti di legno dello stesso spessore, della stessa larghezza, ma di lunghezze opportunamente differenti, l' orecchio percepisce distintamente le sette note della gamma. Diversi istrumenti usati nelle orchestre, quali il tamburro, i cimbali, producono veri rumori.

Certi rumori si prolungano spesso per un tempo notevole, senza che perciò l'orecchio giunga a constatarne o ad afferrarne il valore musicale; tale, è per esempio, il rumore di una vettura, il muggire delle onde del mare, il fruscio delle foglie, il mormorio di un ruscello, il fischiare del vento ecc. In questi diversi casi, il rumore sembra derivare dalla coesistenza di differenti suoni, che si succedono l'un l'altro senza regolarità, o che presentano un carattere più o meno spiccato di dissonanza. Esperienze, delle quali si dirà qualche parola più innanzi, permettono di fare, per così dire, l'anatomia dei diversi rumori citati, e di riconoscere i loro elementi costitutivi, formati spesso da suoni aventi un carettere musicale distinto, ma che non presentano alcuna regola, nè nella loro associazione, nè nella loro successione. Quando si ascolti con attenzione un orchestra mentre eseguisce un pezzo, si potrà distinguere e seguire il giuoco di ciascuno dei diversi istrumenti che la compongono; i loro effetti sull'orecchio si sovrappongono, per così dire, senza disturbarsi. Ma se ciascuno dei diversi artisti produce col proprio istrumento delle note affatto arbitrarie, l'orecchio sentirà distintamente, indipendentemente dai suoni particolari, un rumore generale di un carattere proprio. Questo effetto si manifesta in modo notevole in molte circostanze. Così, per esempio, in una sala dove parlano in una volta moltissime persone, sopra tutti i rumori particolari, domina una spece di mormorio generale

e ben distinto. Così pure, quando si sale su qualche parte elevata di una gran città, animata e rumorosa, alla cima per esempio del Panteon a Parigi, l'orecchio è colpito da un mormorio grave e continuato; gli è come la voce della città, spece di risultante di tutti i fenomeni che si producono in essa, e dei quali, molti, fuori di questa partecipazione all'effetto generale, non avrebbero potuto far udire il loro effetto particolare.

Da tutto quanto si è detto consegue, che tutti i fenomeni sonori son sempre il risultato di un scuotimento periodico di un corpo. Questo scuotimento può durare più o meno tempo, può essere più o meno semplice, però la sua natura fisica non ammette discussione.

628. Veicolo del suono. — Il suono non è un ente particolare; non è altro che una impressione sull' organo dell' udito, impressione originata dallo stato di vibrazione di un corpo. L'esistenza però di un corpo in vibrazione e dell'organo dell'udito, non basta a determinare l'impressione; ma è necessario che si stabilisca una relazione tra il corpo e l'organo dell'udito: ciò accade per l'intermezzo di un mezzo ponderale. Questo mezzo può essere comunque, solido, liquido o gasoso; però, esso dev'essere costituito da un mezzo più o meno elastico. Se si immagina un corpo vibrante in uno spazio assolutamente vuoto, od in un mezzo affatto privo d'elasticità, l'orecchio, posto ad una certa distanza, non percepisce, non ode alcun suono; il suono, nel senso proprio del vocabolo, non esiste.

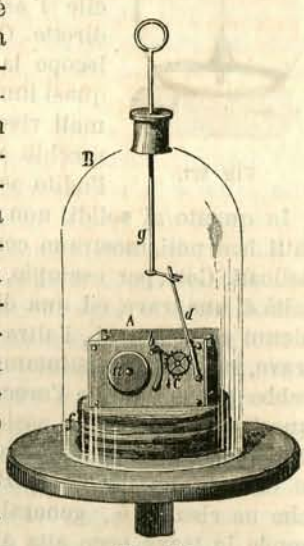


Fig. 576.

Si giustifica questa proposizione colle seguenti esperienze:

1.° Si pone sotto la campana della macchina pneumatica una soneria *A* (fig. 576), che si può far scattare dall'esterno, per mezzo della leva *g*. La soneria vien posta sopra un cuscinetto di ovatta, o di qualunque altra materia pochissimo elastica; quindi si rarefa l'aria nella campana. Fatto il vuoto quanto è possibile, si pone in movimento il meccanismo della soneria; si vede il martello battere sul timbro e, ciò non ostante, non se ne ode il suono, o, per dir meglio, si ode un suono debolissimo. Se si lascia gradatamente rientrare l' aria, il suono prende una intensità gradualmente crescente; se ne deve evidentemente concludere che, se si potesse praticare il vuoto assoluto, e trovare un supporto assolutamente anelastico, non si avrebbe suono di sorta.

2. Si può far uso di un pallone con robinetto (fig. 577), nel quale è sospeso un campanello, per mezzo di un filo di lino. Se si pratica il vuoto nel pallone, e poi lo si agita, il suono prodotto dal campanello è appena percettibile. Questo modo di esperimentare presenta qualche vantaggio sul primo; così, si può riempire il pallone con differenti gas, od anche con vapori saturi o no; in questi casi il suono è sempre distinto; da ciò si deduce che, qualunque gas può servire da intermediario, tra il corpo vibrante e l'udito; in altri termini, che qualunque gas è proprio alla propagazione ed alla trasmissione del suono.

Fig 577.

I liquidi trasmettono pure il suono, ed è facile l'assicurarsene con opportune esperienze dirette. Queste esperienze, qualora abbiano per iscopo la sola constatazione del fatto, riescono quasi inutili, giacchè, un gran numero di animali viventi nell'aqua, sono provvisti di apparecchio auditivo complicato, e molti di essi hanno l'udito assai fino.

In quanto ai solidi, non solamente essi trasmettono il suono, ma, fatti ben noti, mostrano come essi sono organi di trasmissione assai delicati. Così, per esempio, se due persone si collocano alle estremità di una trave, ed una di esse batte colla capocchia di uno spillo alcuni colpi secchi, l'altra persona, applicando l'orecchio contro la trave, ne sentirà distintamente il rumore, mentre questo non sarebbe percepibile, se l'orecchio fosse nell'aria. Si fa qualche volta questa esperienza per assicurarsi se una trave è sana; giacchè in fatti, non riesce bene che a questa condizione. Quando nell'interno si ha qualche decomposizione più o meno avanzata, la sostanza che ne risulta è, generalmente, molle e poco elastica, ciò che rende la trave poco atta alla trasmissione del suono.

Lo stetoscopio è fondato sulla trasmissione del suono attraverso i solidi; è desso formato da un cilindro di legno, del quale si appoggia una delle estremità sul petto del malato, mentre sull'altro si applica l'orecchio. Si perviene così ad udire differenti rumori, quale quello del cuore, quello che proviene dai movimenti dell'aria nei polmoni, ecc. L'ascoltazione semplice stessa, consistente nell'appoggiare direttamente l'orecchio sul corpo, è fondata sullo stesso principio, giacchè i rumori che si tratta di percepire, si trasmettono attraverso alle pareti della cavità toracica.

È noto come, applicando l'orecchio contro terra, si sentano assai più distintamente i rumori lontani. Se si deve credere ai racconti in proposito, i selvaggi perverrebbero a dedurre, da questa sorta di ascoltazione del suolo, le conclusioni le più precise sul cam-

mino seguito da un corpo nemico, sul numero di uomini che lo compongono, e sulla distanza alla quale essi si trovano, ecc. Riassumendo, si può dunque, da tutto quanto precede, dedurre la seguente definizione del suono:

Il suono è l'impressione prodotta dalle vibrazioni di un corpo, trasmessa all'organo dell'udito da un mezzo ponderabile elastico qualunque.

629. Velocità del suono nell'aria. — Questa propagazione del suono in un mezzo, accade con un meccanismo particolare, che verrà esaminato in seguito; essa esige, com'è naturale, un certo tempo, e la sua velocità non è nemmeno assai grande.

Se, ad una certa distanza, si vede un cacciatore che tira un colpo di fucile, non è che qualche istante dopo l'apparizione della luce, che si ode il rumore dell'esplosione. L'intervallo di tempo che separa questi due fenomeni, misura il tempo impiegato dal suono a percorrere la distanza fra i due punti, giacchè si può considerare come affatto nullo, il tempo impiegato dalla luce a percorrere la distanza stessa.

Gli è appunto con esperienze analoghe che si è misurata la velocità del suono nell'aria. Le prime misure esatte vennero eseguite nel 1738 da una Commissione dell'Accademia di scienze, alla quale appartenevano Lacaille e Cassini de Thury. A Montlhéry ed a Montmartre vennero istallati dei cannoni, e si era convenuto che, a partire da una certa ora, si sarebbero tirati dei colpi ad intervalli di tempo uguali; gli osservatori di ogni stazione misuravano il tempo trascorso tra l'apparizione della luce ed il rumore. Questo intervallo di tempo venne trovato, in media, di 1 minuto e 24 secondi per una distanza di 29000 metri circa, ciò che fornisce una velocità, presso a poco, di 337 metri per secondo. In esperienze di questo genere è importante di incrociare i fuochi, onde eliminare l'influenza del vento, il quale diminuisce od aumenta la velocità di propagazione, a seconda che esso soffia nel senso contrario ad essa, o nello stesso senso. Altri osservatori, posti a Fontenay-aux-Roses ed a L'Hay, misuravano pure il tempo che il suono impiegava per giungere ad essi; questo tempo riescì precisamente proporzionale alle rispettive distanze; ciò prova che il suono si propaga con moto uniforme.

Queste esperienze vennero ripetute nel 1822 dall'ufficio delle longitudini; gli osservatori erano, Arago, Gay-Lussac, de Humboldt, de Prony, Bouvard e Mathieu. Si scelsero per stazioni Montlhéry e Villejuif, distanti fra loro 18613 metri, e si trovò, alla temperatura di 15°, per velocità di trasmissione del suono, 340 metri per secondo.

Un gran numero di esperienze analoghe vennero eseguite in altri paesi. Più tardi, Regnault si è occupato dello stesso sog-

getto, utilizzando tutte le risorse della fisica moderna, e specialmente i segnali telegrafici, per la registrazione dell'istante del colpo di fuoco e dell' arrivo del suono. Dall' assieme di tali esperienze sembra risultare che, nell'aria secca, tranquilla, ed alla temperatura di zero gradi, la velocità del suono sia di 331 al secondo. La temperatura ha un'influenza assai significante su questa velocità; così a T°, in generale, la velocità è sensibilmente uguale a $331\sqrt{1+\alpha T}$, α essendo il coefficiente di dilatazione dell' aria. Per percorsi di poca estensione, la velocità cresce anche sensibilmente coll' intensità del moto vibratorio. Si è anche osservato che, per percorsi assai lunghi, si ha una diminuzione nella velocità media, ma la differenza è di poca entità.

630. Formole teoriche. — Applicando le leggi teoriche della propagazione del movimento vibratorio in un mezzo gasoso, si è trovato, per velocità teorica di propagazione del suono nell'aria, alla temperatura di zero gradi:

$$v=\sqrt{g\cdot\frac{m\,h}{d}\cdot\frac{c}{c'}},$$

dove, g è l'accelerazione di gravi, h l'altezza barometrica, m il peso dell'unità di volume dell'aria a 0° e sotto la pressione h; $\frac{c}{c'}$ è il rapporto tra il calor specifico a pressione costante e quello a volume costante (277). Sebbene questa formola sia stata stabilita fondandosi, per la costituzione dei gas, su ipotesi che non si sono che imperfettamente realizzate, si verifica che essa dà dei risultati sensibilmente d'accordo coll'esperienza.

631. Velocità del suono nei liquidi. — La velocità del suono nell'aqua venne misurata da Colladon e Sturm, nel 1826, sul lago di Ginevra. Due barche erano ammarrate alla distanza di 13500 metri fra loro. Una di esse portava una campana del peso di 65 chilogrammi, immersa nell'aqua. Un martello veniva posto in moto col mezzo di una leva esterna, disposta in modo da infiammare un mucchietto di polvere, al momento stesso in cui aveva luogo il colpo del martello sulla campana. Sull'altro battello, l' osservatore ascoltava il suono prodotto, applicando l'orecchio all'estremità di un tubo in forma di cono svasato (fig. 578), il di cui orificio, chiuso da una membrana, era diretto dalla parte d'onde veniva il suono. Notando esattamente il momento dell'apparizione della luce, si poteva misurare il tempo impiegato dal suono a trasmettersi da un battello all'altro. Colladon e Sturm trovarono così, per la velocità di propagazione alla temperatura di 8°, 1435 metri al secondo.

Fig. 578.

La velocità del suono nei liquidi è data da una formola analoga a quella che si riferisce ai gas:

$$v = \sqrt{\frac{g\,m\,\varepsilon}{D\,H}}.$$

Le lettere g ed m hanno lo stesso significato che nella formola precedente, ε rappresenta la compressibilità del liquido sotto una pressione uguale ad H. Facendo uso dei valori trovati da Regnault sulla compressibilità dell' aqua, la formola dà per velocità del suono in questo liquido, 1485 metri. La notevole differenza che passa tra questo valore e quello trovato da Colladon e Sturm, si spiega coll' incertezza dei metodi che servono alla misura delle compressibilità dei liquidi.

Il signor Wertheim ha misurata la velocità del suono in alcuni liquidi con un metodo indiretto, il di cui principio verrà esposto più innanzi; egli trovò 1160 metri nell'etere e nell'alcool, 1900 metri in una dissoluzione di cloruro di calcio.

632. Velocità del suono nei solidi. — La velocità del suono nella ghisa venne determinata da Biot e Martin, facendo uso di un tubo di condotta, lungo circa un chilometro (951 metri). Uno degli osservatori batteva su di un piccolo timbro, posto ad una delle estremità della condotta, l' altro osservatore udiva due suoni; l' uno trasmesso dalla ghisa, arrivava pel primo; l'altro, trasmesso dall'aria, giungeva 2″, 5 dopo. A percorrere questa distanza nell' aria, il suono doveva impiegare 2″, 85; per trasmettersi attraverso alla ghisa, impiegava dunque 0″, 35, ciò che fornisce una velocità otto volte circa maggiore di quella che si ha nell'aria.

Questo risultato non è molto esatto, in causa della eterogeneità del tubo, il quale presentava, di tratto in tratto, delle rotelle di piombo, le quali dovevano influire sulla velocità di propagazione.

I signori Wertheim e Brégeut hanno misurata la velocità di propagazione del suono nei fili telegrafici della ferrovia di Versailles; uno di loro batteva, ad un dato momento, un colpo di martello sul palo; l'altro notava l'istante in cui udiva il rumore. Essi trovarono, in tal modo, una velocità di trasmissione, nel filo di ferro, di 3485 metri. Però, nel corso di queste esperienze, si sono presentate delle irregolarità singolari, le quali danno molta incertezza ai risultati ottenuti. I pali, infatti, essendo piantati nel suolo, è difficile di sapere, se è pel filo, o pel suolo, che ha luogo la trasmissione, oppure se v'ha una spece di combinazione dei due effetti.

Collo stesso metodo indiretto, usato pei liquidi, il signor Wertheim ha misurata la velocità del suono in alcuni solidi; ecco la tavola dei risultati così ottenuti; la velocità dell'aria è presa come unità:

Piombo	3,974 a 4,120		Acciajo	14,561 a 15,108	
Stagno	7,538 » 7,480		Ferro	15,108	
Oro	5,605 » 6,424		Ottone	10,224	
Argento	7,905 » 8,057		Vetro	14,956 » 16,759	
Zinco	9,865 » 11,009		Cristallo	11,890 » 12,220	
Rame	11,167		Legno di quercia	9,902 » 12, 02	
Platino	7,825 » 8,467		Legno di abete	12, 49 » 17, 26	

Si può calcolare la velocità di propagazione del suono nei solidi colla formola:

$$v = \sqrt{\frac{g}{\varepsilon}},$$

nella quale, ε rappresenta l'allungamento di un'asta, di lunghezza uguale all'unità di misura, sotto un carico uguale al suo peso. Questa quantità si può facilmente dedurre dal coefficiente di elasticità delle diverse sostanze.

633. La velocità è la stessa per tutti i suoni. — La teoria dimostra che, in un dato mezzo, la velocità è indipendente dal grado di acutezza, e l'esperienza conferma questo risultato. Basta infatti notare che un pezzo di musica non riesce alterato, quando lo si ode a gran distanza. La constatazione di questo fatto è dovuta a Biot, il quale fece eseguire un motivo sul flauto, all'estremità del tubo di cui si è parlato sopra, lungo 951 metri; il suono pervenne all'altra estremità, senza che il senso della melodia ne riescisse alterato.

634. Meccanismo della propagazione del suono. — È facile di provare che l'aria che trasmette un suono, è essa stessa in vibrazione. Basta infatti avvicinare al corpo sonoro una membrana, sulla quale si è sparso della sabbia; si vede la sabbia agitarsi, prova questa che la membrana vibra; ma questa deve evidentemente il suo moto vibratorio a quello che anima l'aria da cui è circondata. Così pure, se si pone in vicinanza di un corpo sonante un'istrumento a corde, del quale una delle corde possa produrre lo stesso suono del corpo sonoro, si vede la corda vibrare. Se si montano sopra casse due coristi uguali, basta far vibrare uno di questi, perchè l'altro entri pure in vibrazione, anche se è posto a 20 metri di distanza dal primo.

Fig. 579.

Per rendersi conto del modo di propagazione del suono nell'aria, si immagini una lamina vibrante a, posta all'origine di un tubo indefinito, e vediamo ciò che accade mentre la lamina passa da a'' in a' (fig. 579). Noi possiamo decomporre il movimento totale in una serie di piccoli movimenti elementari; ciascuno di questi si comunica successivamente allo strato d'aria vicino, che ne resta compresso; questo strato comprime lo strato successivo, e ritorna al suo stato iniziale.

Se non si avesse che uno solo di questi movimenti elementari, esso si propagherebbe, da strato a strato, colla velocità di 331 me-

tri al secondo. Ma, invece, questi movimenti si succedono in modo continuo; alla fine della prima vibrazione il primo di essi sarà giunto in A_1 (fig. 580), mentrechè l'ultimo è ancora in A. Sui diversi punti di $A A'$ le molecole sono in movimento, ed hanno delle velocità corrispondenti a quelle che aveva la lamina vibrante nei punti corrispondenti della sua escursione. Così, in $C C'$, la velocità è massima, come lo era quella della lamina vibrante nel mezzo della sua corsa; in $D_1 D'_1$ e $D D'$, le velocità sono rispettivamente quelle possedute dalla lamina vibrante ad un quarto ed ai tre quarti della sua corsa, dimodochè, la curva $A C' A$, è una immagine grafica della distribuzione delle velocità. Queste diverse velocità hanno poi anche l'effetto di produrre una compressione dell'aria, in relazione colla grandezza della velocità stessa, di modo che, la curva può rappresentare lo stato relativo delle densità della colonna d'aria $A A$, nei suoi diversi punti.

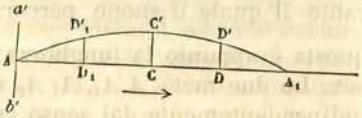


Fig. 580.

Se il movimento della lamina vibrante cessasse, si potrebbe rappresentarsi lo stato dell'aria nel tubo, col supporre che la curva scorra lungo il suo asse colla velocità di 331 metri al secondo. Invece, però, la lamina retrocede, e produce così una rarefazione, che si comunica allo strato vicino; la serie di movimenti inversi,

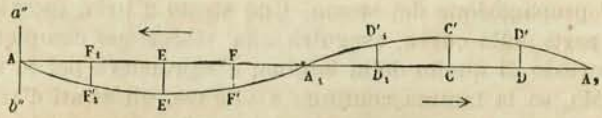


Fig. 581.

comunicandosi da strato a strato, gli strati che si trovano dalla banda della lamina, possiedono, quando questa ha terminata la sua escursione di ritorno, le diverse velocità da quella successivamente possedute. Ad $E E'$ corrisponde la velocità massima; in $F F, F_1 F_1'$ (fig. 581) corrispondono, rispettivamente, le velocità del primo e del terzo quarto; siccome poi il succedersi di queste velocità ha prodotto una rarefazione, la curva $A E' A_1$, rappresenta insieme, e le velocità, e lo stato relativo di dilatazione dei diversi strati d'aria.

Durante il tempo nel quale si è prodotto lo stato dell'aria, rappresentato dalla curva $A E' A_1$, i movimenti dovuti alla prima oscillazione della lamina si sono propagati lungo il tubo, ed alla fine della doppia oscillazione, occupano lo spazio $A_1 A_2$. Si vede dunque che, allorquando la lamina ha compiuta una vibrazione completa, gli strati d'aria situati sulla lunghezza $A A_2$ possiedono

le diverse velocità possedute dalla lamina stessa. Nella prima metà $A A_1$, queste velocità, variabili del resto, son tutte dirette nel senso della freccia posta sopra la figura. Nella seconda metà, queste velocità sono di senso contrario. La riunione delle due parti $A A_1$, $A_1 A_2$, costituisce ciò che dicesi onda sonora. La sua lunghezza $A A_2$ è uguale allo spazio percorso dal suono durante una vibrazione completa della lamina. Se, per esempio, si tratta del ramo di un diapson che eseguisce 870 vibrazioni semplici al secondo, una doppia vibrazione durerà $\frac{1}{435}$ di secondo, tempo durante il quale il snono percorre $\frac{331^m}{435}$, ossia 760 millimetri circa; questa è appunto la lunghezza dell'onda sonora prodotta del diapson. Le due metà $A A_1$, $A_1 A_2$ si trovano in uno stato fisico diverso, indipendentemente dal senso contrario delle velocità; la prima è in uno stato di espansione, e dicesi *semionda rarefatta;* la seconda è in uno stato di condensazione, e dicesi *semionda condensata.* Si osservi poi che, in due punti, quali F_1 e D_1, E e C, F e D, distanti l'uno dall'altro di una semionda, le velocità dell'aria sono esattamente uguali e di senso contrario.

Se la lamina si fermasse dopo una doppia vibrazione, il movimento degli strati d'aria situati lungo $A A_2$, si propagherebbe lungo il tubo, e si potrebbe formarsi un'idea della propagazione, immaginando che la curva scorra lungo l'asse del tubo, colla velocità di propagazione del suono. Uno strato d'aria toccato dalle diverse parti della curva, eseguirà una vibrazione completa nello stesso periodo di quello della lamina, e riprenderà poi lo stato di riposo. Ma, se la lamina continua a vibrare, gli strati d'aria continueranno pure a vibrare, ed alla stessa guisa; solamente, ciascuno di essi comincierà ad un'epoca differente, dipendente dalla distanza che lo separa dall'origine dello scuotimento.

Nella figura 579 si son distinte con gradazioni diverse le due semionde; la più oscura corrisponde alla semionda condensata. Bisognerà immaginarsi che queste onde si propagano in ragione di 331 metri al secondo, rigenerandosi continuamente all'origine; si potrà così formarsi un'idea della propagazione del suono in un tubo cilindrico.

635. Propagazione del suono in un mezzo indefinito. — Quando la vibrazione sonora accade in un mezzo indefinito, la propagazione ha luogo in tutte le direzioni, attorno al centro di scuotimento.

In vicinanza a questo centro le onde possono avere una forma un po' complessa, giacchè la vibrazione ha una sola direzione, ma queste irregolarità scompaiono, e le onde diventano presto sferiche, come se lo scuotimento avvenisse per la espansione e la contrazione di una sfera.

Le onde sonore sferiche, possonsi grossolanamente paragonare alle onde circolari che si producono alla superfice dell'aqua, quando questa venga scossa in un punto col gettarvi una pietra.

Però, questi fenomeni sono esenzialmente differenti l'uno dall'altro. Nelle onde liquide, le molecole sono alternativamente sollevate ed abbassate rispetto al livello generale, ma non provano alcun cambiamento di densità; questo cangiamento è invece il fatto caratteristico delle onde sonore. Ciò non pertanto, in questi due fenomeni si ha una circostanza comune, importante da mostrarsi. L'onda non produce alcun movimento di trasporto; infatti, nel succedersi delle onde liquide, se si osserva un piccolo corpo galleggiante, lo si vede alternativamente sollevarsi ed abbassarsi, conservando però lo stesso posto alla superfice dell'aqua. Così, nelle onde sonore, le molecole d'aria eseguiscono dei movimenti alter-

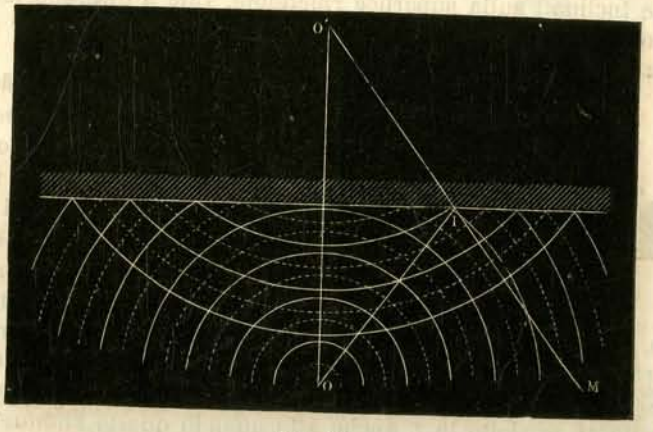


Fig. 582.

nativi nel senso della propagazione del suono, ma però il centro di questi movimenti rimane invariabile. Tra la propagazione del suono in un tubo e quella in un mezzo indefinito, passa poi una differenza esenziale. Nel primo caso, ogni strato comunicando il suo movimento ad uno strato di massa eguale alla sua, la trasmissione è completa e non havvi altra causa di perdita, fuori di quella proveniente dall'attrito contro la parete del tubo. Il suono prodotto in queste condizioni può essere udito a distanze assai notevoli, specialmente se la sezione del tubo è un po' grande.

In un mezzo indefinito, ciascun strato comunica il suo movimento ad una massa d'aria superiore alla sua; ne deve dunque derivare una diminuzione di ampiezza nella vibrazione, e quindi una diminuzione nell'intensità del suono. La teoria dei movimenti

vibratori, mostra che l'intensità del suono diminuisce in ragione inversa del quadrato della distanza dal centro di scuotimento.

636. Riflessione delle onde sonore. — Quando le onde sonore incontrano un ostacolo fisso, si riflettono, dimodochè si hanno due sistemi di onde, l'uno diretto, l'altro riflesso, che si propagano separatamente, senza disturbi. Se la riflessione accade su di una superfice piana, e le onde hanno per centro diretto *O* (fig. 582), le onde riflesse hanno per centro il punto *O'*, simmetrico al punto *O*. Un orecchio posto in *M*, potrà udire il suono, quando sarà percosso dalle onde riflesse. Si può dare il nome di raggio sonoro alla normale alle onde sonore, secondo la quale il suono si propaga e giunge all'orecchio; allora *O I* è il raggio *incidente*, *I M* il raggio *riflesso;* siccome i punti *O* ed *O'* sono simmetrici, se ne deve concludere che il raggio incidente ed il raggio riflesso sono ugualmente inclinati sulla superfice riflettente, vale a dire, che, nella riflessione del suono, *l'angolo di riflessione è uguale all'angolo di incidenza.*

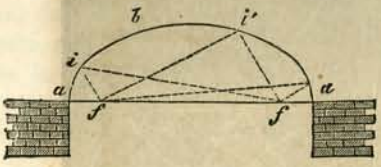


Fig. 583.

637. Diversi casi della riflessione del suono. — La riflessione delle onde sonore spiega molti fenomeni assai noti. Se si immagina una spece di volta elittica *ab* (fig. 583), e si produca un moto vibratorio sonoro ad uno dei fuochi *f*, le onde, rimandate secondo la legge della riflessione, avranno per centro il secondo fuoco, dove, di conseguenza, verranno concentrarsi (1). Una persona posta in questo fuoco potrà dunque udire un rumore prodotto in *f*, anche allorquando questo rumore riesca affatto impercettibile alle persone vicine.

Sono appunto particolarità geometriche, più o meno analoghe a questa, che danno la spiegazione di quanto accade nella *sala dell'eco*, al Conservatorio d'arti e mestieri a Parigi. Due persone, collocate a due angoli opposti della sala, possono discorrere a voce bassa, senza farsi udire dalle persone che si trovano nella parte intermedia.

L'esperienza degli specchi conjugati è appoggiata su questi principi. Si sospende all'uno dei fuochi di uno specchio concavo (fig. 584)

(1) Se si considerano, come lo si è fatto nel paragrafo precedente, i raggi sonori, questa circostanza diventa una conseguenza immediata delle proprietà geometriche dell'elisse. È noto infatti, che, per questa curva, i raggi vettori che partono dai fuochi *f* e terminano in un punto qualunque *i* od *i'* della curva, riescono ugualmente inclinati rispetto alla tangente alla curva in questi punti.

un orologio da tasca; una persona colloca il suo orecchio al fuoco dell'altro specchio, o, meglio ancora, onde non intercettare le onde dirette, pone al fuoco stesso il padiglione di un cornetto acutistico (639), per mezzo del quale si può udire distintamente il rumore del bilanciere dell'orologio, e ciò anche quando gli specchi si trovano a parecchi metri di distanza.

638. Eco. — L'eco è prodotto dalla riflessione delle onde sonore. La presenza di un ostacolo, quale un muro, un filare d'alberi, ecc., è assolutamente necessario; l'eco non si produce mai in rasa campagna od in pieno mare, a meno che non vi sieno delle nubi che riflettano il suono.

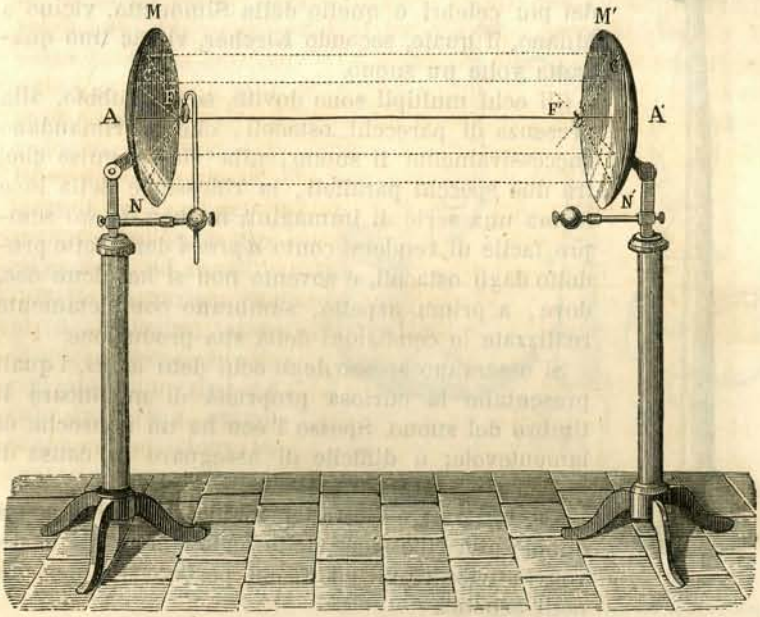


Fig. 584.

L'eco dicesi *monosillabo* quando non ripete che una sola sillaba; *polisillabo* quando ne ripete parecchie. Si citano degli echi che ripetono fino a venti parole.

Perchè l'eco ripeta una sillaba, bisogna che l'ostacolo che lo produce, sia posto ad una tale distanza, che il suono ritorni all'osservatore, allorquando questi ha appena finito di pronunciare una sillaba. Supponiamo, come infatti è pressochè esatto, che l'articolazione di una sillaba duri $^1/_5$ di secondo; la velocità del suono essendo di 331 metri al secondo, lo spazio percorso in $^1/_5$ secondo è di 65 metri, ciò che porta a 32 o 33 metri la distanza che deve

separare l'osservatore dall'ostacolo, onde l'eco possa ripetere una sillaba. Infatti le onde sonore, ritornando all' osservatore, hanno percorso, prima la distanza OA, e poscia la AO, vale a dire il doppio della distanza dell'osservatore dall' ostacolo. Se la distanza diventa doppia, tripla, quadrupla, l'eco potrà ripetere due, tre, quattro sillabe. Quando la distanza è minore ai 30 metri, l'eco si confonde col suono diretto, ciò che dà origine ad una semplice risonanza. Gli è ciò che si osserva, specialmente, sotto alle vôlte un suono.

Fig. 585.

Gli echi sono qualche volta *multipli*, vale a dire che ripetono parecchie volte lo stesso suono. Uno dei più celebri è quello della Simonetta, vicino a Milano, il quale, secondo Kircher, ripete fino quaranta volte un suono.

Gli echi multipli sono dovuti, senza dubbio, alla presenza di parecchi ostacoli, che si rimandano successivamente il suono, alla stessa guisa che, tra due specchi paralleli, la riflessione della luce forma una serie di immagini; ma non è però sempre facile di rendersi conto *a priori* dell'effetto prodotto dagli ostacoli, e sovente non si ha alcun eco, dove, a primo aspetto, sembrano completamente realizzate le condizioni della sua produzione.

Si osservano spesso degli echi detti *tonici*, i quali presentano la curiosa proprietà di modificare il timbro del suono. Spesso l'eco ha un nonsochè di lamentevole; è difficile di assegnare la causa di questa singolare particolarità.

639. Portavoce. — Cornetto acustico. — Gli è senza dubbio alla riflessione delle onde sonore che si devono attribuire gli effetti del portavoce e dei cornetti acustici.

Il portavoce (fig. 585) è un tubo conico, che può giungere fino ai 2 metri di lunghezza, munito ad una delle sue estremità d'una imboccatura, che può applicarsi alla bocca, senza impedire i movimenti delle labbra. All'altra estremità si trova un padiglione svasato, di circa $0^m,30$ di apertura. Questi istrumenti, in uso specialmente a bordo dei bastimenti, impartono al suono un grado notevole di rinforzo, ed è abbastanza difficile, per vero dire, di dare una precisa spiegazione di questo fatto. Si ammette, generalmente, che la forma conica del tubo abbia per effetto di riavvicinare sempre più i raggi sonori all'asse dell'apparecchio, e di dar luogo, per tal modo, ad un scuotimento più intenso. Ma, secondo questa teoria, il padiglione sarebbe inutile, e l'esperienza prova invece che esso ha una grande influenza.

Le stesse difficoltà si incontrano nello spiegare gli effetti dei cornetti acustici. La forma di questi apparecchi può essere molto varia, come lo mostrano i diversi modelli rappresentati dalla figura 586. La sola condizione generale è, che il padiglione esterno sia più largo della parte che si introduce nell'orecchio. Nei cornetti si dispongono spesso delle sottili membrane in baudruche. L'utilità delle membrane, in questi apparecchi, deriva dal fatto della loro sensibilità pelle vibrazioni estremamente deboli, e spesso impercettibili all'orecchio.

640. Interferenza del suono. — Si dà il nome di *interferenza del suono* al fenomeno che si produce nell'incontro di due onde sonore, e che dà, qualche volta, origine ad una diminuzione notevole del suono, od anche al silenzio. Questo fenomeno, un po' paradossale a primo aspetto, si spiega facilmente, quando si conosca il meccanismo della propagazione del suono.

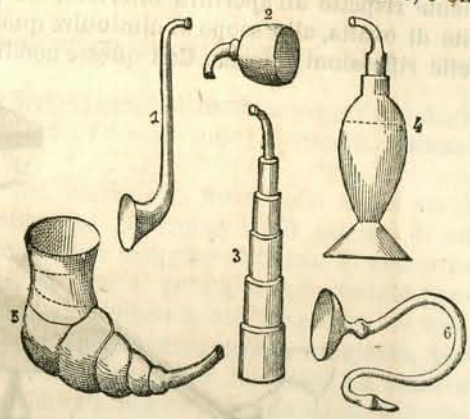


Fig. 586.

Dalle spiegazioni date al (634) risulta, infatti, che le molecole di aria, o di qualunque altro veicolo del suono, eseguiscono un movimento vibratorio, avente lo stesso periodo di quello del corpo sonoro stesso, ma che, questo movimento, comincia più o meno presto, a seconda della distanza; cosichè, ad un dato momento, su di una certa linea, partendo dal centro di vibrazione, le diverse molecole sono in fase di vibrazione diversa. Si può allora concepire che, in uno stesso punto, giungano contemporaneamente due movimenti ondulatori di ugual periodo, ma dei quali è diversa la fase: la molecola raggiunta da questi due movimenti, assumerà per velocità la risultante delle due impressioni ricevute. Se, per esempio, queste due velocità fossero uguali e contrarie, la molecola verrebbe ridotta assolutamente al riposo; ed in questo punto si avrebbe il silenzio, come risultato dell'addizione di due fenomeni sonori.

Queste condizioni fisiche possono venir realizzate in diversi modi. Si fa vibrare una lamina al modo ordinario, e si dispone al disopra d'essa un tubo biforcato, in modo che uno dei rami abbia la sua bocca di contro ad una parte vibrante della lamina (fig. 587): il suono prova un rinforzamento notevole, in causa della vibrazione

concomitante dell'aria del tubo. Ma se si collocano le due aperture di faccia rispettivamente a due parti della lamina, vibranti in fase opposta, non si ha alcun rinforzo del suono. Ciò devesi all'interferenza, che accade nel corpo stesso del tubo; giacchè, due movimenti vibratori inversi, vengono a propagarsi per ciascuna delle biforcazioni del tubo. Questa esperienza è dovuta al signor Wheatshone.

Le condizioni dell'interferenza si vedono realizzate in un modo più diretto nella seguente esperienza, dovuta al signor Dessains.

Si fa uso di una cassa di legno, la di cui faccia inferiore è forata da un'apertura, destinata a ricevere un forte fischietto. Sulla faccia superiore si trovano due aperture più larghe, e disposte simmetricamente rispetto all'apertura inferiore. Le pareti interne sono guernite di ovatta, allo scopo di diminuire quasi completamente l'effetto delle riflessioni interne. Con queste condizioni, se si fa suonare il

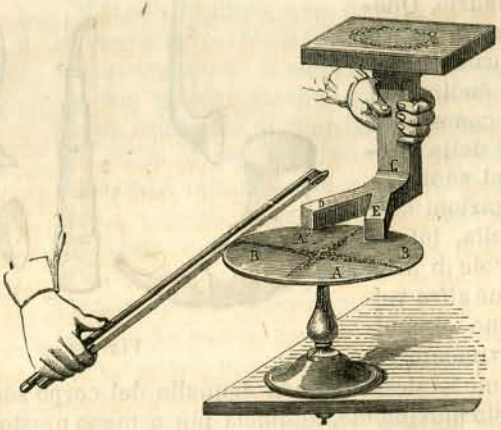


Fig. 587.

fischietto, e si trasporta una piccola membrana tesa, nei diversi punti del piano verticale situato fra le due aperture, si vede la sabbia agitarsi e produrre delle linee nodali a destra ed a sinistra. Ma, se si sposta la membrana in un piano perpendicolare al primo, si trovano delle posizioni, simmetricamente disposte, dove il movimento della sabbia riesce appena sensibile. Se allora si chiude una delle aperture, la sabbia si agita di nuovo, ciò che prova appunto che gli è all'azione reciproca dei due movimenti vibratori, che si deve attribuire la distruzione di velocità.

Si ottiene un risultato analogo, ma più spiccato, coll'esperienza seguente, dovuta al signor Lissajous.

A poca distanza al disopra di una lamina vibrante circolare, si pone un disco di cartone, o di zinco, coperto di panno, e formato da 10 settori, alternativamente

pieni e vuoti. Si fa vibrare la lamina in modo che si divida in 10 settori, e si dispone il disco mobile in maniera da mascherare esattamente i settori corrispondenti della lamina vibrante. I movimenti vibratori suscettibili di interferire, si trovano per tal modo arrestati, ed il suono manifesta un rinforzamento notevole. Se si fa girare il disco di tanto che basti a far in modo che ogni settore vuoto, copra la metà di due settori contigui, il rinforzo non ha più luogo. Se si fa girare rapidamente il disco, si produce una serie successiva di rinforzi, così da dar luogo ad una spece di battimenti assai distinti.

CAPITOLO II.

VALUTAZIONE NUMERICA DEI SUONI.

641. Qualità del suono. — I diversi suoni si distinguono gli uni dagli altri per delle qualità specifiche, le quali sono: l'*intensità*, l'*altezza* ed il *metallo*.

Intensità. — L'intensità del suono è la forza colla quale viene impressionato l'organo dell'udito. Un suono è più intenso di un altro, quando è percettibile ad una maggior distanza. Si dimostra facilmente, colle esperienze indicate al principio del capitolo precedente, che l'intensità del suono dipende dall'ampiezza del movimento vibratorio; basta infatti aumentare questa ampiezza, per scoprire che il suono aquista una maggiore intensità. La misura dell'intensità del suono, considerata nel movimento vibratorio che ne è l'origine, è una questione di meccanica, che si risolve coi principi generali delle forze vive; se però si considera il suono come una sensazione speciale, si deve riconoscere che l'organo che la riceve è assai poco adatto a compararne l'intensità, in modo un po' preciso. Certamente è facile di assicurarsi che il rumore prodotto da un cannone è assai più intenso di quello prodotto da una pistola, ma l'apprezzamento del rapporto di questi due effetti meccanici è operazione, si può dire, impossibile. L'esperienza che si potrebbe fare in proposito, consisterebbe nel misurare le distanze alle quali due suoni determinati si estinguono sensibilmente. Ammettendo a *priori* la legge della variazione dell'intensità in ragione inversa dei quadrati delle distanze, si potrebbe dire che, un suono estinguentesi a distanza doppia, è quattro volte più intenso.

Altezza. — L'altezza o *tonalità* di un suono, è una qualità speciale, che l'orecchio è suscettibile di provare, sempre ad uno stesso grado, qualche volta con una meravigliosa precisione, qualità che è il fondamento dell'applicazione dei suoni alla musica. L'altezza dipende unicamente dal numero di vibrazioni eseguite dal corpo

sonoro, e dalle molecole del mezzo che trasmette il suono, in un dato tempo; quando il numero delle vibrazioni aumenta, il suono si fa più *acuto* od *alto*; diventa invece più *grave* o *basso*, quando il numero delle vibrazioni diminuisce.

L'altezza è affatto indipendente dall'intensità; se si scuote leggermente una corda, pizzicandola colle dita, essa rende un suono debole; se la si sposta maggiormente, il suono diventa più intenso, ma, in ambedue i casi, l'altezza è la stessa.

Metallo. — Il metallo è quella qualità, per la quale, indipendentemente dall'intensità e dall'altezza, si distingue il suono dalla provenienza; per esempio, si distingue il suono del violino da quello del flauto, si riconoscono diverse persone dalla loro voce, ecc. Più innanzi si dirà delle cause fisiche del metallo.

642. Intervalli musicali. — Quando due suoni si fanno udire, o simultaneamente, o successivamente, l'orecchio prova un'impressione di natura tutta speciale, dovuta a ciò che dicesi l'intervallo musicale dei due suoni. Questa impressione non dipende dall'altezza assoluta dei suoni, ma solamente dal rapporto speciale che esiste fra loro. Così, quando due suoni sono all'*ottava* l'uno dall'altro, l'impressione dell'ottava è la stessa, qualunque sia il grado di acutezza o di gravità dei due suoni.

Dal punto di vista fisico, l'intervallo musicale è determinato dal rapporto dei numeri di vibrazioni dei suoni costituenti. Così, un suono è all'*ottava grave* di un'altro, quando è costituito da un movimento vibratorio due volte più lento; inversamente è all'*ottava acuta*, quando deriva da un movimento vibratorio due volte più rapido.

La musica è l'arte di combinare i suoni in modo da produrre un'emozione comparabile a quella che risulta da un'opera artistica qualunque; essa ricorre, per raggiungere questo scopo, a tutte le risorse fornite dalle proprietà fisiche dei corpi vibranti; l'intensità dei suoni, il metallo di vari istrumenti, hanno dunque una parte evidente in una composizione musicale; ciò nonpertanto, si può dire che questa non è che una parte secondaria. Il fondo dell'arte musicale consiste nell'impiego degli intervalli musicali. Con un'esperienza, che risale senza dubbio ai tempi antichissimi, si riconobbe, che gli intervalli utilizzabili nella musica, sono, in fatto, poco numerosi; essi sono contenuti in una *scala* di sette suoni, conosciuta col nome di *gamma* (1).

(1) Il vocabolo *gamma* deriva dalla lettera greca *gamma*, aggiunta verso l'XI secolo, ed usata per designare la nota *la* grave del violoncello, che cominciava allora la serie delle note usate *A, B, C, D, E, F, G*. Si assunse il Γ greco per non disturbare la serie delle lettere già adoperate. Il *gamma* essendo allora il principio della serie dei suoni, si è dato a questa serie il nome di *gamma*.

643. Gamma. — La gamma è formata da una serie di sette suoni, dal grave all'acuto, o dall'acuto al grave, contenuti fra due suoni estremi, dei quali, uno è l'ottava acuta o grave dell'altro.

Ecco i nomi delle note della *gamma* o *scala maggiore*:

Nomi italiani	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	do_2
Nomi francesi	*ut* o *do*	*ré*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	ut_2
Nomi inglesi e tedeschi	C	D	E	F	G	A	B od H	C

Comparando la nota più grave, o, *tonica* ai differenti suoni della scala, si hanno i diversi intervalli adoperati in musica. Tali intervalli portano i seguenti nomi:

do a *do*	unissono	*sol* a *do*	quinta
re a *do*	seconda	*la* a *do*	sesta
mi a *do*	terza	*si* a *do*	settima
fa a *do*	quarta	do_2 a *do*	ottava

Colla combinazione del metodo sperimentale e del calcolo, furono determinati i rapporti dei numeri di vibrazioni che caratterizzano questi diversi intervalli; questi rapporti sono espressi nella tavola seguente, nella quale, il numero di vibrazioni corrispondente alla nota *do*, è ritenuto 1.

do	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

L'esattezza di questi numeri può considerarsi come assoluta; essi risultano da esperienze assai varie, rettificantisi l'un l'altra. Se si prende il rapporto del numero di vibrazioni di ogni nota colla precedente, si ottengono i seguenti numeri:

Da *re* a *do*	$\frac{9}{8}$	Da *la* a *sol*	$\frac{10}{9}$
Da *mi* a *re*	$\frac{10}{9}$	Da *si* a *la*	$\frac{9}{8}$
Da *fa* a *mi*	$\frac{16}{15}$	Da do_2 a *si*	$\frac{16}{15}$
Da *sol* a *fa*	$\frac{9}{8}$		

L'intervallo $\frac{9}{8}$, che è la seconda maggiore, dicesi *tono maggiore*. L'intervallo $\frac{10}{9}$ è un *tono minore*. Il rapporto tra il tono maggiore ed il tono minore è $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$: l'intervallo $\frac{81}{80}$ vien detto *comma*; è il più piccolo considerato in musica, e, in generale, lo si ritiene come trascurabile. L'intervallo $\frac{16}{15}$ prende il nome di *semitono maggiore*.

Da questa enumerazione si vede come, nella serie dei suoni della gamma, esiste una certa irregolarità. Così, la gamma maggiore è formata dalla successione seguente: un tono maggiore, un tono minore, un semitono maggiore, un tono maggiore, un tono minore, un tono maggiore, un semitono maggiore. Gli è appunto in questa successione che consiste la scala maggiore; la tonica può avere qualsivoglia numero di vibrazioni, ma, una volta fissata la sua altezza, quella delle altre note è rigorosamente stabilita.

La gamma può venir prolungata indefinitamente nei due sensi; in fisica, la posizione delle diverse gamme vien distinta con un piccolo numero, collocato al piede del nome della nota. Così, poste $do_1, re_1 \ldots$, le note di una gamma, che servirà di termine di comparazione, le note do_2, $re_2 \ldots$; do_3, $re_3 \ldots$, indicano le note corrispondenti della seconda, della terza, ottava alta; do_{-1}, re_{-1}; do_{-2}, $re_{-2} \ldots$ indicano le note corrispondenti della seconda e della terza ottava bassa.

In musica si fa uso anche dell'intervallo $\frac{25}{24}$ (*diesis* ♯), e dell'intervallo inverso, $\frac{24}{25}$ (*bemolle* ♭), al quale si dà il nome di *semitono minore.*

Finalmente, indipendentemente dalla scala maggiore, o di ciò che dicesi *modo maggiore*, si fa pure uso del *modo minore*, le di cui basi sono un po' meno fisse di quelle del modo maggiore. Ecco un tipo della *scala minore*, coi corrispondenti intervalli:

do		*re*		*mi*♭		*fa*		*sol*		*la*♭		*si*♭		do_2
	$\frac{9}{8}$		$\frac{16}{15}$		$\frac{10}{9}$		$\frac{9}{8}$		$\frac{16}{15}$		$\frac{9}{8}$		$\frac{10}{9}$	

644. Consonanze e dissonanze. — Gli intervalli musicali si dividono in due classi; gli uni formano delle consonanze, gli altri delle dissonanze. Le prime danno origine ad un senso di piacere, proprio dell'udito, e risultante da una spece di omogeneità della sensazione; le seconde producono una spece di stiracchiamento nell' organo dell'udito, come se questo fosse sollecitato da azioni contrarie.

Gli intervalli consonanti sono: l' unissono, l' ottava, la sesta, la quinta, la quarta, la terza maggiore e la terza minore $\left(\frac{6}{5}\right)$. Gli intervalli dissonanti sono: la seconda maggiore, il tono minore, il semitono maggiore, il semitono minore ed il comma.

Si noti che le consonanze corrispondono a rapporti relativamente semplici dei numeri di vibrazioni. Questi rapporti hanno il massimo possibile di semplicità in ciò che dicesi *accordo perfetto.*

Accordo perfetto maggiore, *do, mi, sol.* . . . $1, \frac{5}{4}, \frac{3}{2}$

Accordo perfetto minore, *do*, *mi*$^{\flat}$, *sol* . . . . $1, \frac{6}{5}, \frac{3}{2}$

Nella scala maggiore si possono distinguere tre accordi perfetti: *do*, *mi*, *sol*; — *sol*, *si*, re_2; — *fa*, *la*, do_2, e tre accordi perfetti minori nella scala minore: *do*, *mi*$^{\flat}$, *sol*; — *sol*, *si*$^{\flat}$, re_2; — *fa*$\flat$, *la*$^{\flat}$, do_2.

645. Scala temperata. — A seconda dei principi generalmente ora adottati in musica, è convenuto, qualunque sia la nota fissa colla quale si incomincia, che le altre note della scala riproducano la serie di toni e di semitoni sopra indicata. Se dunque si immagina un istromento a suoni fissi, come un pianoforte, le di cui corde danno i toni della scala naturale, per istabilire questa distribuzione, quando si incominci con un'altra nota diversa dal *do*, sarà necessario di alterare un po' qualcuna delle note seguenti, onde ottenere la serie naturale della scala. Così, volendo incominciare la scala colla nota *sol*, si avrebbe per valore delle successive note:

sol, *la*, *si*, *do*, *re*, *mi*, *fa*$^{\sharp}$, *sol*.

La scala di *fa* sarebbe:

fa, *sol*, *la*, *si*$^{\flat}$, *do*, *re*, *mi*, *fa*.

Come si vede, per soddisfare a tutti i bisogni della trasposizione, bisognerebbe introdurre, fra le note che differiscono di un tono, due corde che diano, l'una la nota superiore bemolizzata, l'altra l'inferiore diesata, giacchè questi due suoni non coincidono in modo assoluto. Ma, l'alterazione prodotta dal diesis e dal bemolle, è essa stessa approssimativa; si trascura generalmente un comma. Finalmente, se si tien conto delle esigenze, abbastanza complesse, del modo minore, si vede che, se si volessero avere degli istrumenti a suoni fissi, che potessero dare tutte le note, anche appena press'a poco giuste, delle diverse scale, si sarebbe condotti a combinazioni inestricabili. Si eludono queste difficoltà coll'artificio del *temperamento*. La successione delle note della gamma fino all'ottava, forma una serie di 12 semitoni, alcuni maggiori, gli altri minori; si suppongono questi semitoni uguali, e calcolati in modo da ottenere l'ottava giusta. Il valore di questo semitono unico deve, per conseguenza, soddisfare alla relazione $x^{12} = 2$, dalla quale, $x = \sqrt[12]{2}$. Questo valore del semitono medio, differisce di meno di un comma dal semitono maggiore; si capisce allora come il temperamento possa bastare alle diverse esigenze musicali. Nella scala temperata, il semitono unico rappresenta il diesis della nota inferiore, od il bemolle della nota superiore; son queste le note corrispondenti ai tasti neri del pianoforte.

Il *la* delle orchestre (la_3) venne fissato, con decreto 16 febbra-

jo 1859, ad 870 vibrazioni per secondo (1); è desso il *la temperato* dell'ottava media del pianoforte. Da questo numero di vibrazioni, si deduce il numero assoluto di vibrazioni dato dalle diverse note della scala.

	Scala temperata	Scala naturale		Scala temperata	Scala naturale
do_3	517, 3	517, 3	*sol*	775, 1	776, 0
re	580, 7	582, 0	*la*	870, 0	872, 2
mi	651, 8	646, 6	*si*	976, 5	970, 0
fa	690, 5	689, 7	do_4. . . .	1034, 6	1034, 6

646. Limite dei suoni adoperati nella musica. — I suoni più gravi adoperati in musica sono quelli dati dalle canne d'organo chiuse, della lunghezza di 5 metri circa (16 piedi); tal suono corrisponde a 32 vibrazioni per secondo. Nei suoni acuti non si sorpassa la tripla ottava del *la* del diapson, ciò che dà, per Parigi, $870 \times 2^3 = 6960$ vibrazioni per secondo. Al disopra di questo limite l'orecchio si trova intronato, ma, avanzandosi man mano, si può riescire a valutare dei suoni che si elevano fino a 70 o 75000 vibrazioni al secondo.

La voce umana, a seconda degli individui, può dare delle note, poste in differenti posizioni della scala musicale, e riferite su di un'estensione di circa due ottave. Il *fa* inferiore del basso (fa_1) è di 174 vibrazioni al secondo, il *sol* superiore del soprano (sol_4) di 1550 circa; ma questi limiti possono venir superati di molto, da qualche voce eccezionale.

647. Misura del numero assoluto di vibrazioni. — La conoscenza del valore degli intervalli musicali, un'orecchio abbastanza giusto, ed abbastanza esercitato per distinguere le note naturali dalle note temperate, bastano per stimare esattamente il rapporto dei numeri di vibrazioni di due dati suoni; da ciò consegue che, se il numero assoluto di vibrazioni di un d'essi è conosciuto, si potrà dedurre il numero di vibrazioni dell'altro. Così, per esempio, se si riconosce che un suono è la quinta alta del *la* normale, se ne concluderà che esso dà $\frac{3}{2} . 870 = 1305$ vibrazioni al secondo. Quando il suono che si studia dista un po' troppo dai suoni utilizzati in musica, si potrà far uso di suoni ausiliari, avvicinantisi gradualmente al suono considerato. — Si può pure, in questo genere di

(1) Il *la* di Berlino dà 448, 5 vibrazioni doppie al secondo; il *la* di Londra ne dà 452. Il *la* dell'orchestra del teatro alla Scala di Milano dà 451, 5 vibrazioni al secondo, quello dell'orchestra del teatro S. Carlo di Napoli, 445.

ricerche, adoperare metodi propriamente fisici, di cui diremo succintamente.

648. Sirena. — La sirena, immaginata da Cagniard-Latour, è formata da un tamburro cilindrico (fig. 588), nella di cui faccia superiore sono praticati 25 fori, disposti in circolo. Al disopra, a piccola distanza, si trova un disco, mobile intorno ad un'asse passante pel centro della faccia superiore del tamburro; nel qual disco sono pure praticati 25 fori, disposti in circolo, ed in corrispondenza coi fori praticati nel tamburro. Le aperture del tamburro e del disco non sono perpendicolari alle rispettive faccie, ma il loro asse è obliquo, e, come si vede nella figura 589, le loro direzioni sono inverse.

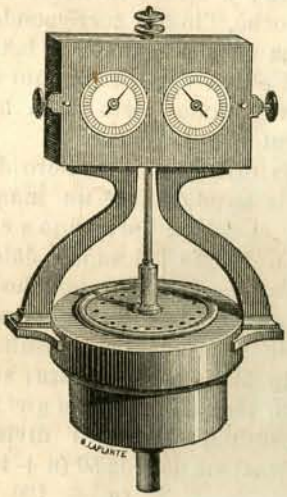


Fig. 588.

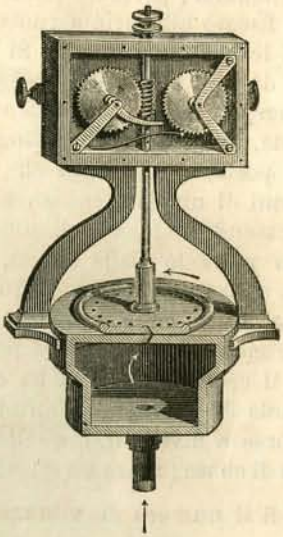


Fig. 589.

Da tale disposizione consegue che, se dell'aria giunge nel tamburro dal tubo posto alla parte inferiore dell' apparecchio, al momento in cui le aperture saranno affacciate, l'aria sfuggirà da esse, producendo una impulsione sulle pareti delle aperture del disco; la quale impulsione avrà per effetto di mettere il disco stesso in movimento. In causa di questa rotazione, si produrrà nell' aria una serie di urti, succedentesi tanto più rapidamente, quanto più la velocità di rotazione sarà grande. Ne risulterà un fenomeno sonoro. La sirena può funzionare nell' aqua, quando si faccia arrivare dal tubo inferiore dell' aqua sottoposta ad una grandissima pressione; è dovuto a questa circostanza il nome di sirena, dato all'istrumento ora descritto.

Quando la sirena parla, è facile di valutare il numero di vibrazioni corrispondenti al suono prodotto. Infatti, in un giro del disco, l'eflusso dell'aria ha luogo 25 volte, e 25 volte è arrestato; ciò costituisce 25 compressioni e 25 dilatazioni dell'aria, in tutto 50 vibrazioni semplici. Questa osservazione permette di applicare la sirena alla misura del numero di vibrazioni di un suono dato.

Perciò la sirena è munita di un contatore, rappresentato dalla figura 589. L'asse del disco presenta alla sua parte superiore una vite perpetua, che ingrana con una ruota dentata, con 100 denti, il di cui asse porta un indice, mobile su di un quadrante; questa ruota avanza di un dente per ogni giro del disco, e ritorna alla posizione di partenza dopo 100 giri del disco stesso. Una seconda ruota dentata, portante pure un indice, è messa in moto da un dente fissato alla prima ruota, dimodochè, l'indice corrispondente, segna le centinaja di giri. Si aggiunga che, spingendo un bottone, posto da una banda del contatore, si attiva l'ingranamento della vite perpetua colla ruota dentata; un bottone posto dalla banda opposta, serve a togliere l'ingranamento.

Ciò posto, si supponga che si voglia misurare il numero di vibrazioni di un dato suono; si pone la sirena sopra un mantice, non essendo ingranato il contatore, e si spinge l'aria fino a che, il suono prodotto dalla sirena, sia all'unissono del suono dato; si cerca allora di mantenere questo unissono durante qualche momento, e si spinge il bottone di ingranamento, osservando intanto un cronometro. Quando si pon fine all'esperienza, si consulta ancora il cronometro, e si ha così la durata dell'esperienza; supponiamola di T secondi. Durante questo tempo l'indice dei giri abbia percorse n divisioni, e quello delle centinaja di giri, n' divisioni; ciò fa di conseguenza un numero di vibrazioni, dato da $50\ (n + 100\ n')$; quindi il numero di vibrazioni al secondo è $\frac{50\ (n + 100\ n')}{T}$.

Una sirena di date dimensioni, non può dare che suoni compresi fra limiti abbastanza stretti; per poter variare le esperienze, bisognerebbe ricorrere a diversi modelli di sirene, oppure far uso, come Seebeck, di diversi ordini di aperture, che si possono mettere in giuoco a volontà (1).

(1) La figura 590 rappresenta la Sirena di Seebek, perfezionata da König. Il disco mobile è mantenuto in rotazione regolare da un forte meccanismo di orologeria, contenuto nella cassa sottostante, e porta otto serie di fori equidistanti, situati su circonferenze concentriche. I tubi di gomma elastica A, B, C... permettono di spingere l'aria contro un qualsivoglia ordine di fori, così da produrre, a volontà, suoni diversi. Gli otto ordini di fori, a cominciare dal più interno, presentano i seguenti numeri di fori:

24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48.

649. Metodo grafico. — La sirena, come contatore delle vibrazioni, è di una esattezza mediocre, ed il principale interesse presentato da questo istrumento, si è che esso mostra in modo, per così dire diretto, la produzione del suono.

Se si dividono questi numeri per 21, si ottengono i rapporti:

$$1, \frac{9}{8}, \frac{5}{4}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{15}{8}, 2;$$

vale a dire che, se si fanno successivamente agire i successivi ordini di fori, si produrrà la scala maggiore perfetta (643), giacchè, conservandosi costante la velocità di rotazione del disco, i numeri di vibrazioni che producono i successivi suoni, presentano la serie dei rapporti, che caratterizzano la scala maggiore.

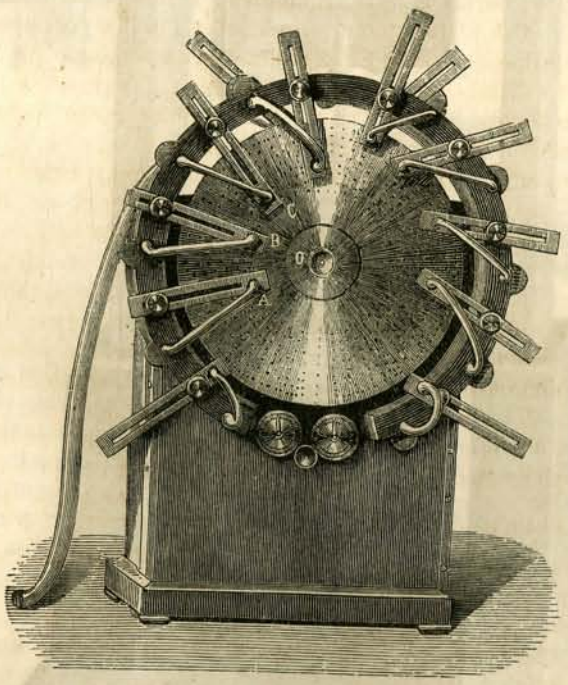


Fig. 590.

Si noti che la produzione della scala, è indipendente dalla velocità particolare del disco; solamente, se questa cambiasse da una prova all'altra, cambierebbe la *tonica* della scala prodotta.

La figura 591 rappresenta la *sirena doppia*, costruita da Helmholtz. Essa è formata da due sirene a_0 ed a_1, poste l'una sull'altra, in modo che i dischi giranti, posti sullo stesso albero, riescano affacciati; in k si trova il contatore, ommesso nella figura. Ciascun disco porta quattro ordini di fori, disposti su circonferenze concentriche; per mezzo di bottoni i, si può far agire un qual-

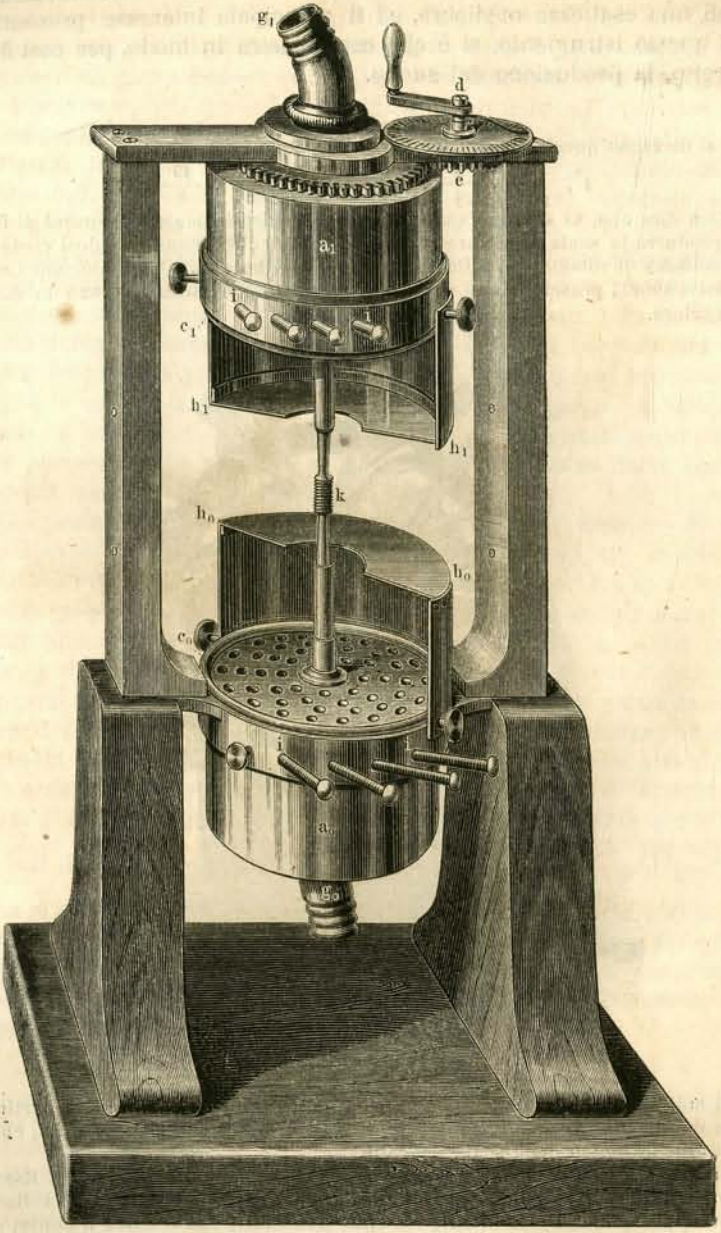


Fig. 591.

I processi di iscrizione grafica, ora assai usati, sono insieme, più esatti, e più comodi. La figura 592 mostra la disposizione che si prende, onde ottenere l'iscrizione delle vibrazioni di una lamina, di un diapson.

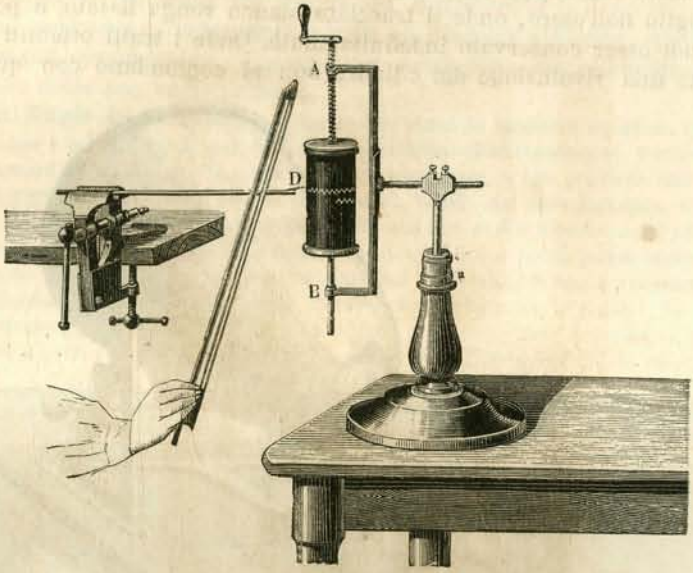


Fig. 592.

Si fissa sulla lamina, con un po' di cera, un piccolo stilo. Si ha, d'altra parte, un cilindro mobile attorno ad un asse, terminato da una manovella, sulla superfice del quale si è incollato un foglio di carta, leggermente affumicata. Si avvicina lo stilo alla carta, in modo che il contatto riesca assai leggero, si fa vibrare la lamina e si fa girare la manovella. Lo stilo traccia una linea ondulata sulla superfice del foglio, e se, per mezzo di un orologio qualunque, si è misurata la durata dell'esperienza, non si ha che

sivoglia ordine di fori, cosichè si hanno, con una data velocità, otto suoni disponibili. Le casse h_0 h_0, h_1 h_1, servono a rinforzare il suono. I dischi, essendo collegati al medesimo albero, girano, sotto l'azione di una corrente, colla stessa velocità. Gli ordini di fori della sirena superiore presentano rispettivamente 9, 12, 15, 16 fori; quelli della sirena inferiore, contano 8, 10, 12, 18 aperture: si possono così ottenere molte combinazioni di suoni, facendo agire un' ordine della sirena superiore ed uno della inferiore. Si può con questo istrumento verificare la legge dei rapporti semplici negli accordi (644). Cambiando la forza del getto d'aria, cambiano le note, ma, rimanendo costante il rapporto del numero delle vibrazioni prodotte dai due suoni, rimane pur costante l' impressione del relativo accordo.

NOTA DEL TRADUTTORE.

a contare le sinuosità della curva, per ottenere il numero di vibrazioni eseguite in quel tempo, e quindi il numero di vibrazioni eseguite al minuto secondo.

Questo studio può eseguirsi a tutt'agio, giacchè basta immergere il foglio nell'etere, onde il tracciato bianco venga fissato, e possa quindi esser conservato indefinitamente. Onde i tratti ottenuti durante una rivoluzione del cilindro non si confondano con quelli

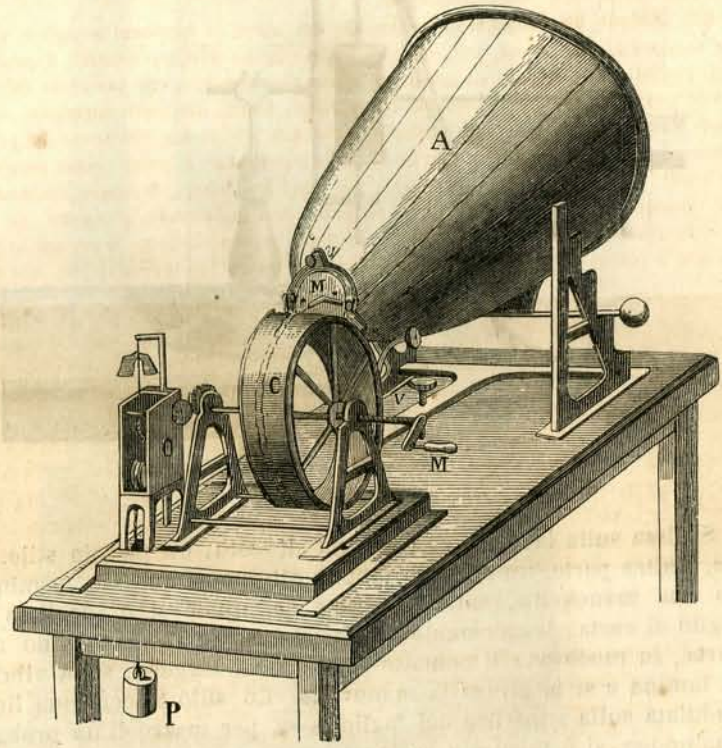


Fig. 593.

del giro seguente, l'asse del cilindro è filettato a vite, e si muove in una chiocciola; in questo modo il cilindro progredisce parallelamente al proprio asse, e la traccia forma, alla sua superfice, come una spece di spirale. L'apparecchio porta il nome di *vibroscopio*. Il processo grafico può facilmente appropriarsi a tutti i casi, mediante lêggere modificazioni.

Se, per esempio, si vuol far scrivere una membrana, si fissa su questa perpendicolarmente, uno stilo assai leggero, e lo si avvicinà al cilindro, in modo tale che le vibrazioni riescano parallele al suo asse. Gli è appunto su questo principio che è fondato il *fo-*

nautografo del signor Scott (fig. 593). È un'apparecchio formato da una membrana *M*, tesa ad uno degli estremi di una spece di gran cornetto *A*. Un delicato stilo *p*, fissato alla membrana, scrive sul cilindro girante *C*, quando è scossa da un suono, prodotto all'altra estremità del cornetto. La figura 594 rappresenta la traccia ottenuta, mediante il fonantografo, con un diapson vibrante, quando rende un suono unico, e quando si producono simultaneamente alcune delle sue armoniche.

650. Metodo dei battimenti. — Quando due suoni in rapporto semplice, quali un suono e la sua quinta, per esempio, si producono simultaneamente, l'orecchio può essere impressionato da un suono detto *risultante*, e che proviene dall'accordo periodico delle onde sonore componenti. Infatti, nel caso supposto, si capisce che non si avrà accordo completo, che alla fine di due vibrazioni del primo suono, e di tre del secondo. Questo accordo è periodico e potrà quindi generare un suono particolare. Se i due suoni dati sono do_1 e sol_1, il suono risultante è do_1. Questo suono risultante è facile da percepirsi nelle canne d'organo. Se ora si immagina, per esempio, che i due tubi siano imperfettamente accordati, e che, mentre il primo fa 512 vibrazioni, il secondo ne faccia 769 invece di 768, che cor-

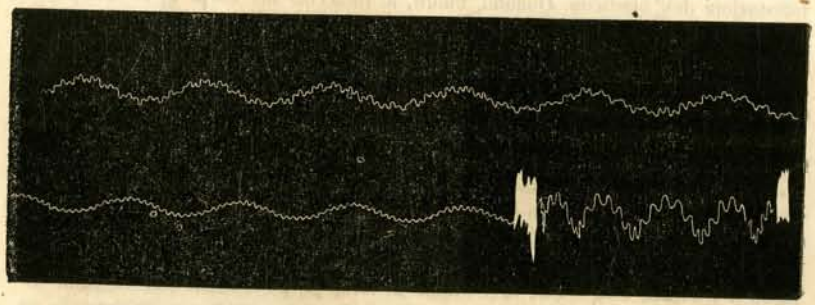


Fig. 591.

rispondono esattamente alla quinta, l'accordo non sarà completo che dopo un secondo; si stabilirà e si distruggerà gradualmente, di modoche, ad ogni secondo, l'orecchio sarà impressionato da un certo rinforzo, ciò che dà origine a dei *battimenti* assai distinti e facili da contarsi. Se si avesse una differenza di due, tre, quattro vibrazioni, si udirebbero due, tre, quattro battimenti al secondo. Si può constatare la realtà di questi rinforzamenti periodici per mezzo del fonautografo (1).

(1) La sirena doppia permette di verificare la produzione dei battimenti; ed ecco come: mediante la manovella *d* e la ruota dentata *e* (fig. 591), si può far girare il tamburro della sirena superiore: la velocità del disco corrispondente, rispetto al tamburro, rimane dunque aumentata o diminuita, a seconda che si fa girare il tamburro in senso contrario, od uguale a quello del disco stesso: nel primo caso il suono si eleva alquanto, nel secondo si abbassa. In ogni caso, le note prodotte dalle due sirene non riescono più in assoluto accordo, e si manifestano sensibilmente i battimenti, in numero diverso, secondo il grado di alterazione dell'accordo.

NOTA DEL TRADUTTORE.

Le curve ottenute in questo caso, presentano delle ondulazioni, la di cui ampiezza è periodicamente variabile. Questa osservazione permette di poter valutare il numero di vibrazioni di un suono col mezzo dei battimenti. Il tonometro di Scheibler, costruito dal signor Kœnig, è composto di 65 diapson, che formano una serie di suoni dal *do* di 512 vibrazioni, alla sua ottava di 1024. Per determinare il numero di vibrazioni di un suono, basterà di prendere, nella serie dei diapson, i due che vi si avvicinano di piu, al disopra, ed al disotto; contando il numero di battimenti fatti con uno qualunque di essi, si avrà immediatamente il numero di vibrazioni cercato.

CAPITOLO III.

LEGGI DELLE VIBRAZIONI.

651. Diverse sorta di vibrazioni dei solidi. — Le vibrazioni sonore sono manifestazioni dell'elasticità. Quando, infatti, le molecole dei corpi sono sottoposte all'azione di forze esterne, provano uno spostamento e, se le forze cessano, ritornano alle loro posizioni iniziali, le sorpassano, in virtù della velocità aquisita, ed eseguiscono intorno ad esse un certo numero di vibrazioni isocrone, che costituiscono appunto la condizione fisica del suono. L'isocronismo di queste vibrazioni è una conseguenza necessaria della legge indicata al § 13; esso è d'altronde constatato dal fatto che, durante tutto il tempo in cui un corpo vibra, il suono conserva la medesima altezza. A seconda del modo di scuotimento impiegato pel solido, si ottengono vibrazioni di differenti sistemi. Quando si agisce per via di compressione o di dilatazione, le vibrazioni prendono il nome di vibrazioni *longitudinali*. Le vibrazioni *trasversali* sono quelle che si ottengono colla flessione del corpo, vale a dire dall'azione di forze perpendicolari alla maggior dimensione del corpo; queste vibrazioni, generalmente, non sono accompagnate da cambiamento nella densità.

652. Vibrazioni trasversali delle corde. — Gli è alle vibrazioni trasversali delle corde che la musica istrumentale deve qualcuna delle sue più preziose risorse. Nel violino, nel violoncello, e nel contrabasso, le corde sono scosse trasversalmente per mezzo di un'archetto. In causa dell'aderenza con questo, le corde sono, per un istante, trascinate, poi retrocedono, per venir poscia di nuovo trascinate; ciò produce come una serie di piccoli urti. Nell'arpa, nella chitarra, le corde vengono direttamente pizzicate colle dita; nel pianoforte la vibrazione è determinata dalla percussione di un martello. Qualunque sia il modo di scuotimento, l'altezza del suono non dipende che dagli elementi costitutivi della corda stessa.

653. Leggi delle vibrazioni trasversali delle corde. — I geometri hanno applicato il calcolo all'esame delle vibrazioni trasversali delle corde. Trattata dapprima da Taylor in modo incompleto, la questione venne poscia ripresa da Alembert, ed infine, completamente risolta da Lagrange. La formola seguente, contiene il risultato di queste diverse ricerche:

$$(a) \qquad n = \frac{1}{r\,l}\sqrt{\frac{P}{\pi\,d}};$$

n rappresenta il numero di vibrazioni semplici, eseguite in una unità di tempo, r il raggio della corda, l la sua lunghezza, P la sua tensione, d la sua densità.

Da questa formola si possono dedurre le leggi delle vibrazioni delle corde. Si vede infatti che, se la lunghezza od il raggio della corda diventano 2, 3 volte più grandi, il numero di vibrazioni diventa 2, 3 volte più piccolo, e reciprocamente. Si può dunque dire, che, *i numeri delle vibrazioni trasversali eseguite, in un dato tempo, da diverse corde, a parità delle altre condizioni, sono inversamente proporzionali alle loro rispettive lunghezze, ed ai loro rispettivi raggi.*

Si vede pure che, se la tensione, od il peso tenditore, divengono 4, 9 volte più grandi, i numeri delle vibrazioni divengono 2, 3 volte più grandi; dunque: *i numeri di vibrazioni sono, a parità delle altre condizioni, direttamente proporzionali alla radici quadrate delle tensioni, o dei pesi tenditori.*

Finalmente, se la densità diventa 4, 9 volte maggiore, il numero di vibrazioni diviene 2, 3 volte più piccolo; dunque: *i numeri di vibrazioni sono, a parità delle altre condizioni, inversamente porporzionali alle radici quadrate delle rispettive densità.*

654. Verificazione sperimentale. — Sonometro. — La verificazione sperimen-

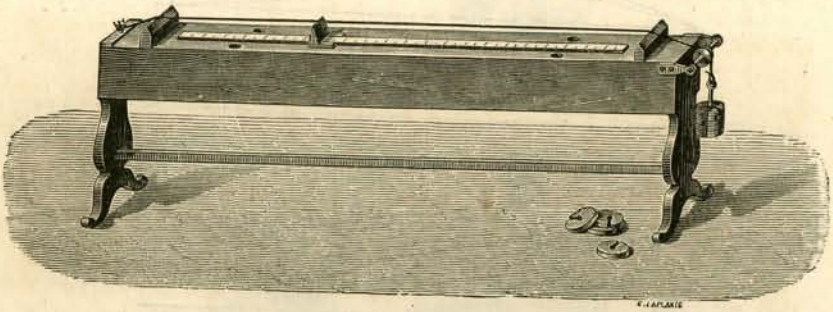


Fig. 595.

tale di queste leggi può eseguirsi per mezzo dell'apparecchio detto sonometro, e rappresentato dalla figura 595. Esso si compone essenzialmente di una cassa di abete, destinata a rinforzare i suoni, al disopra della quale sono tese una o più corde. L'una delle estremità di queste è invariabilmente fissa; l'altro capo passa sopra una puleggia, e porta dei pesi, dei quali si può far variare il numero e la grandezza. Verso le due estremità della tavola sono disposti due cavalletti fissi, sui quali passa la corda, la distanza dei quali determina la lunghezza della parte vibrante. Un cavalletto mobile permette di far vibrare una parte più o meno grande della corda. Si vuol, per esempio, verificare la legge delle lunghezze; si fa vibrare la corda nella sua totalità, e si ascolta con attenzione il suono prodotto; si pone in seguito il cavalletto al punto di mezzo, e si fa vibrare una delle metà della corda; il suono prodotto in questo caso, è, assai esattamente, all'ottava acuta del primo; è dunque costituito da un numero doppio di vibrazioni.

Se si fa vibrare successivamente l'intiera corda ed i suoi $\frac{2}{3}$, si riconoscerà distintamente la quinta; facendo vibrare successivamente le frazioni di lunghezza

$\frac{8}{9}, \frac{4}{5}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{8}{15}$, i suoni ottenuti formeranno la gamma naturale del suono fondamentale dato dalla corda, considerato come tonica.

Questo modo di verifica, molto preciso del resto, è però indiretto, giacchè si fonda sulla conoscenza degli intervalli musicali. Si può fare una verifica diretta, fissando un leggerissimo stilo sulla corda, e facendolo agire sul vibroscopio. Questo processo permette, di più, di operare con lunghezze qualsiansi, e non corrispondenti ad un intervallo semplice e facile da apprezzarsi.

Le diverse leggi sulle vibrazioni si possono verificare collo stesso metodo. Si supponga, per esempio, che si voglia studiare l'influenza della densità della corda: si adoperano, per esempio, due fili, uno d'acciajo, l'altro di platino, di ugual diametro, e li si tendono, con pesi uguali, uno accanto all'altro sul sonometro. Facendo vibrare in tutta la loro lunghezza le porzioni comprese fra i cavaletti fissi, si odono due suoni, i di cui numeri di vibrazioni sono press'a poco nel rapporto di 3 a 5; vale a dire, che il suono reso dal platino è prodotto da un numero di vibrazioni uguale ai $^3/_5$ di quello del numero di vibrazioni dato dal filo

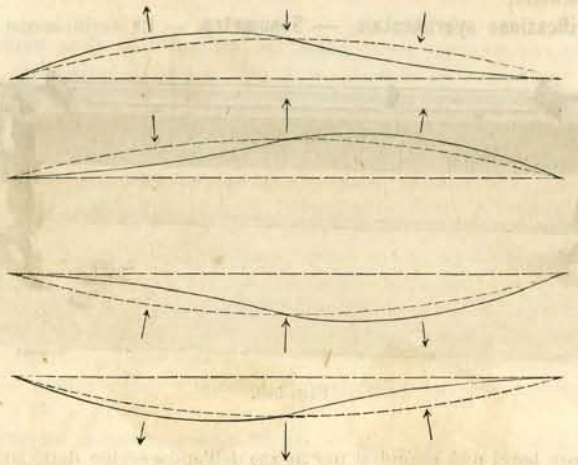


Fig. 596.

di ferro. Questo rapporto è sensibilmente concordante con quello delle radici quadrate delle densità: la densità del ferro è 8, quella del platino trafilato 22, ed il rapporto di $\sqrt{8}$ a $\sqrt{22}$ è, press'apoco, quello della $\sqrt{9}$ alla $\sqrt{25}$, cioè da 3 a 5.

655. Suoni armonici. — Quando una corda vibra, e si ascolti con attenzione, si odono, oltre il suono fondamentale, degli altri suoni, tra i quali è facile di distinguere, posto 1 il suono fondamentale, i suoni 2 e 3; vale a dire, l'ottava, e l'ottava della quinta del suono dato. Un'orecchio esercitato può udire i suoni 4, 5, 6, ecc. A questi suoni si dà il nome di *suoni armonici*; la loro produzione è un fenomeno costante, in qualunque sistema solido, ed è appunto alla loro coesistenza col suono fondamentale, che è dovuto in generale, come si vedrà più innanzi, il metallo dei suoni.

Si spiega la produzione delle armoniche nelle corde, ammettendo che, mentre

la corda vibra nella sua totalità, essa si divide spontaneamente in 2, 3, 4 parti uguali, che vibrano simultaneamente e danno precisamente la serie delle armoniche. La figura 596 mostra le forme successive che assume una corda vibrante in modo da dare, ad una volta, il suono fondamentale e la sua ottava, vale a dire la prima armonica.

Si può far in modo che la corda faccia nettamente intendere una delle armoniche, invece del suono fondamentale. Si può ottenere direttamente questo risultato, ponendo un cavalletto ad una parte aliquota della corda, per esempio, ad un quinto (fig. 597), ed attaccando la parte minore. Si riconosce allora che la parte maggiore si divide spontaneamente in quattro parti, vibranti all'unissono. Sau-

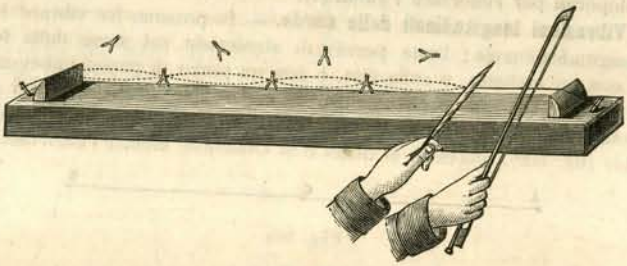


Fig. 597.

veur constatava il fatto con un processo assai ingegnoso: egli poneva sulla corda dei piccoli cavalieri di carta. Al momento in cui la corda viene attaccata, i pic-

Fig. 598.

coli cavalieri vengono lanciati via, eccetto quelli che si trovano nei punti corrispondenti ai limiti di suddivisione della corda.

Si può eseguire l'esperienza in modo più istruttivo. Si pongono sul sonometro due

corde, che vengono ridotte perfettamente all'unissono, si coprono ambedue con piccoli cavalieri, e si attacca una di esse, nel modo di cui si è detto; si vede allora la corda libera dividersi essa stessa in cinque parti vibranti; i cavalierini sono respinti dovunque, fuorchè nei due punti corrispondenti alle suddivisioni. È questo un caso particolare di un fenomeno, altrettanto importante, quanto generale, consistente in ciò, che la vibrazione di un corpo si comunica a quelli che possono vibrare all'unissono con essi. La propagazione del suono non è, realmente, che una grande vibrazione all'unissono: ma, indipendentemente dall'onda di propagazione, si hanno delle onde di rinforzamento, dovute a vibrazioni sincrone di parti limitate del mezzo che trasmette il suono; sta qui il principio di tutti i mezzi adoperati per rinforzare i suoni (1).

656. Vibrazioni longitudinali delle corde. — Si possono far vibrare le corde anche longitudinalmente; basta perciò di strofinarle nel senso della loro lunghezza, con un'archetto, o colle dita, o con un pezzo di panno imbevuto di colofonia. Si sente, in queste circostanze, un suono assai acuto, rispetto a quello che produrrebbe la corda, fatta vibrare trasversalmente. Nel caso del suono fondamenlale (fig. 599), una metà si dilata o si condensa, mentre l'altra metà, si con-

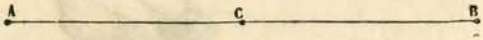


Fig. 599.

densa o si dilata; al punto *C*, la densità non cambia; ma, l'ampiezza del movimento è, in questo punto, la maggiore possibile; esso e un *ventre* di vibrazione; i punti *A* e *B* sono *nodi*.

La corda però, può anche dividersi in parti vibranti separatamente. Le figure

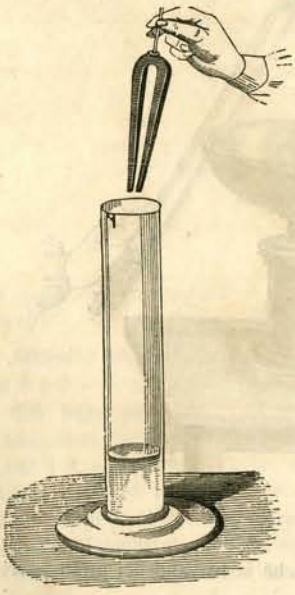


Fig. 600.

(1) È questo il principio sul quale son fondate le casse armoniche. Si può in molte maniere provare il fatto del rinforzo di un suono, dovuto a corpi vibranti sincronamente col corpo sonoro. Citiamo l'esperienza del *timbro di Savart*. Un grosso timbro *A* (fig. 598), sfregato coll'archetto produce un suono potente, il quale riesce notevolmente rinforzato, quando gli si avvicini un cilindro cavo *B*, di legno, a fondo mobile; muovendo questo fondo, si modificano le dimensioni interne del cilindro, e si può trovare facilmente la posizione da darsi al fondo stesso, onde ottenere il massimo rinforzo. Spiccatissimo riesce l'effetto dell'avvicinamento del cilindro al timbro, quando il suono prodotto da questo va morendo ed è ridotto appena sensibile.

Si può eseguire la stessa dimostrazione con un alto vaso cilindrico *A* di vetro (fig. 600), alla bocca del quale si presenti un diapson *B*, in vibrazione, mentre si versa, poco a poco dell'aqua nel vaso.

NOTA DEL TRADUTTORE.

601 rappresentano lo stato vibratorio, corrispondente alla divisione della corda in tre parti uguali. Quando si tratti, o della vibrazione della corda nella sua totalità, o di un ugual modo di divisione, le vibrazioni longitudinali sono sottoposte, come le vibrazioni trasversali, alla legge delle lunghezze, vale a dire, che il numero di vibrazioni varia in ragione inversa delle lunghezze delle corde. In quanto al numero assoluto di vibrazioni, esso è, a parità di condizioni, assai maggiore che nel caso delle vibrazioni trasversali. Secondo la teoria, se n ed n' sono rispettivamente i numeri di vibrazioni longitudinali e trasversali, eseguite da una stessa corda, vibrante nella sua totalità, si ha la relazione:

$$\frac{n}{n'} = \sqrt{\frac{l}{\alpha}},$$

dove, l è la lunghezza della corda, α l'allungamento che essa è suscettibile di provare, sotto l'azione del peso che la tende.

657. Istrumenti a corde. — Le vibrazioni trasversali sono le sole usate nella costruzione degli istrumenti di musica a corde. Nel pianoforte e nell'arpa si ha

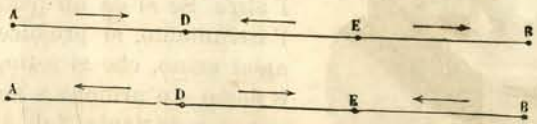


Fig. 601.

una corda per ciascuna delle note che possono entrare in una composizione musicale, secondo la scala temperata. Si fa variare la lunghezza, la grossezza delle corde, ed anche, qualche volta, la loro natura, onde ottenere queste diverse note. L'una delle estremità delle corde è avvolta sopra una caviglia, che si può far girare più o meno, in modo da modificare la tensione della corda, quando si vuole accordare l'istrumento.

Nel violino, nel violoncello, e nel contrabasso, non vi sono che quattro corde tese, per mezzo di caviglie, sopra una cassa armonica. Gli è appoggiando le dita sulla corda, che l'artista determina la lunghezza della parte vibrante, propria alla nota che vuol produrre. In questi istrumenti è possibile di dare ai suoni tutta la esattezza necessaria, senza alcuna alterazione analoga al temperamento, usato negli istrumenti a suoni fissi.

658. Vibrazioni trasversali nei sistemi rigidi. — Verghe. — Lamine. — Campane. — Inutile l'insistere sulle leggi delle vibrazioni dei sistemi rigidi; i differenti suoni prodotti dipendono dalla disposizione dei punti fissi, i quali, a lor volta, determinano il modo di suddivisione del sistema. Si rende sensibile questa suddivisione per mezzo del processo immaginato da Chladni. Consiste esso nello spolverare la superfice della lamina con sabbia fina; durante la vibrazione, si vede la sabbia agitarsi, ed accumularsi, in definitiva, secondo certe linee, che sono evidentemente il limite delle parti (con camerazioni) vibranti in senso contrario. Sono dunque *linee nodali*, e le si devono considerare come le intersezioni delle superfici nodali interne, colla superfice stessa del corpo. Chladni e Savarat hanno ottenuto colle lamine un gran numero di tali figure (fig. 571).

I timbri, le campane, si dividono in segmenti passanti tutti pel vertice, che generalmente serve a fissare questa spece di corpi sonori. Si distinguono nettamente queste parti vibranti, ponendo in questi vasi un liquido. Al momento in cui si attacca uno dei punti del lembo con un archetto, si vede, alla super-

fice del liquido, formarsi delle ridde, divise in un certo numero di gruppi. Il suono si eleva col numero delle concamerazioni che si formano. Si può graduare le dimensioni di diversi vasi, in modo che le note che essi danno, formino la gamma. Si sono anche, qualche volta, utilizzati istrumenti fondati su questo principio.

659. Diapson. — La rigidità delle verghe, le rende proprie a conservare, senza alterazione sensibile, il suono che esse sono suscettibili di produrre, in ragione delle loro dimensioni. Gli è appunto in causa di questa circostanza che gli accordatori fanno uso di un piccolo istrumento, detto *diapson* o *corista*: esso è esenzialmente formato da una verga d'acciajo ricurva (fig. 602), fissa al suo mezzo, e le di cui estremità si avvicinano leggermente l'una all'altra. Se si dà un piccolo urto all'istrumento, si produce un suono assai acuto, che si estingue presto; è desso un'armonica superiore del suono principale dell'apparecchio, armonica che forma, col suono principale stesso, una dissonanza assai sentita. In quanto al suono principale, che è appunto quello che vien utilizzato dall'accordatore, dura abbastanza lungo tempo, e lo si può udire distintamente, avvicinando l'istrumento all'orecchio.

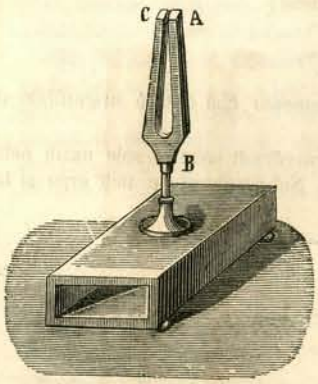


Fig. 602.

La figura 602 rappresenta un diapson, montato su di una cassetta di risonanza; questa non ha solamente per effetto di rinforzare il suono; ma di impedire anche la produzione del suono sapracuto, in causa del suo disaccordo colle armoniche della massa d'aria stessa.

Nelle diverse esperienze di acustica, per esempio nell'impiego del tonometro di Scheibler, queste casse armoniche permettono, per tal modo, di ottenere dei suoni semplici, ed hanno perciò una notevole importanza.

660. Legge generale delle vibrazioni di un sistema solido. — Inutile pure di insistere maggiormente sulle vibrazioni di un sistema solido, solamente si menziona, in proposito, una legge generale, la quale è una conseguenza razionale della teoria generale dell'elasticità. Questa legge dice che, *quando due solidi simili vibrano allo stesso modo, i numeri di vibrazioni prodotti in uno stesso tempo, sono inversamente proporzionali alle dimensioni omologhe dei corpi stessi.*

661. Tubi sonori. — Nei tubi sonori è l'aria che prova il movimento vibratorio al quale si deve il fenomeno sonoro. Per iscuotere la massa dell'aria contenuta nel tubo, si fa specialmente uso di ciò che dicesi *imboccatura del flauto*. È noto che, nel flauto ordinario, la corrente d'aria, nascente dalle labbra, va ad urtare i lembi, tagliati a smuzzo, di un'apertura. Questo urto produce un movimento vibratorio, che si comunica all'aria del flauto. Nei tubi d'organo si imita questa disposizione di cose, nel modo seguente: Una corrente d'aria, fornita da un

mantice, giunge alla parte inferiore del tubo prismatico (fig. 603) o cilindrico (fig. 604), e sfugge da una fessura stretta, detta *luce;* forma questa la parte inferiore di una apertura, il di cui assieme ha preso il nome di *bocca*. La parte superiore, smuzzata, porta il nome di *labbro superiore*, e determina la vibrazione della massa d'aria nell' interno della canna. Questa speciale disposizione dell' imboccatura, è l' origine diretta del suono. Si può infatti constatare, che la sola imboccatura basta a produrre il suono; ciò non pertanto, questo suono è povero ed ha un carattere distinto di discordanza; la massa d'aria del tubo, vibrando all'unissono, lo rinforza e lo rende più omogeneo.

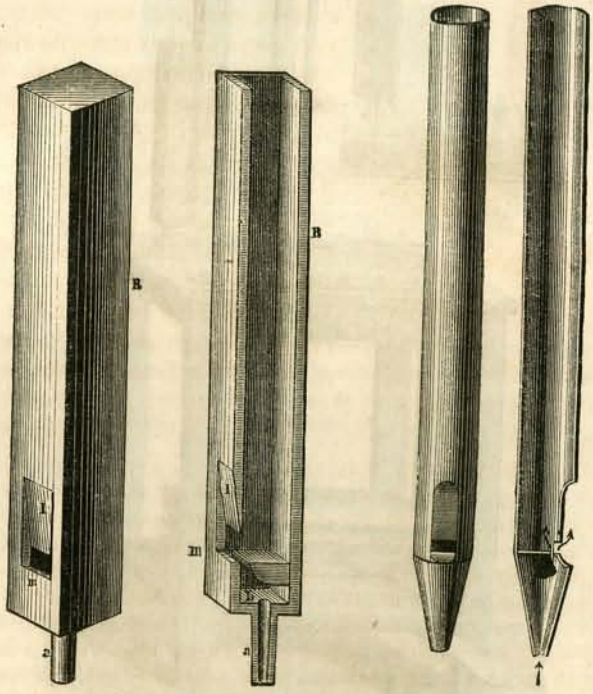


Fig. 603. Fig. 604.

Il mantice destinato a far parlare le canne, è rappresentato dalla figura 605. Un mantice *V* è posto in movimento, per mezzo di un pedale *P*. Si può aumentare la velocità della corrente, sia col caricare di pesi il mantice, sia premendo l'asta *T* (1). L'aria giunge, condotta da un grosso tubo laterale, da una spece di serbatojo prismatico *C*, detto somiero.

Sulla faccia superiore del somiero, sono praticate diverse aperture *a*, *b*, *d*, destinate a ricevere i tubi sonori. Una piastrella *K*, premuta da una molla *R*, costituisce la parte inferiore di queste aperture; premendo il tasto *a* si abbassa la piastrella, e l'aria giunge nel tubo.

(1) Nelle esperienze di precisione, si fa uso di mantici perfezionati, nei quali l'aria effluisce sotto una pressione costante.

662. Nelle canne l'aria è il corpo sonoro. — È facile di constatare che nelle canne sonore è effettivamente l'aria il corpo sonoro, e che le pareti non hanno se non una influenza insignificante sulla natura del suono. Si mettono, a tale effetto, tre canne di ugual lunghezza sul mantice; una di legno, una seconda di

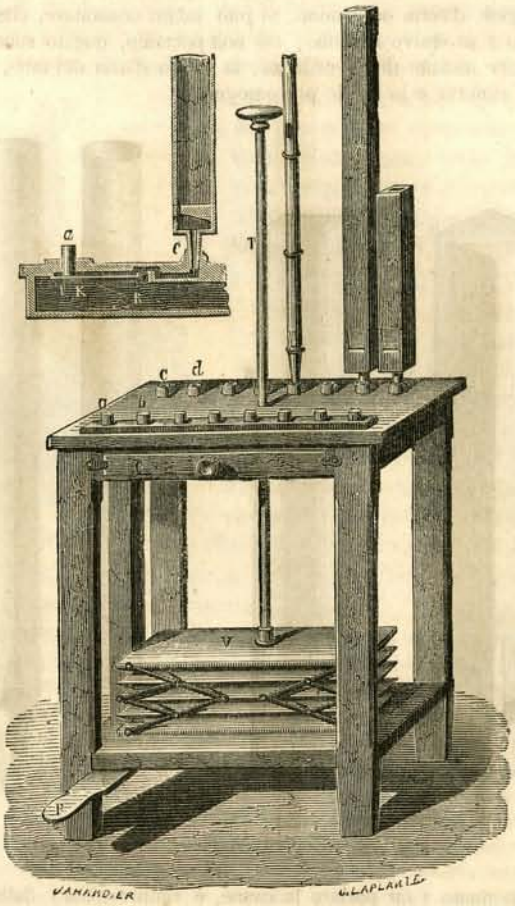


Fig. 605.

rame, e la terza di grosso cartone; facendole parlare successivamente, si riconosce che i tre suoni hanno esattamente la stessa altezza; tutt'al più, si nota una leggera differenza nel metallo dei suoni prodotti. Se però le pareti dei tubi sono molto sottili, le loro vibrazioni hanno influenza sensibile, e l'altezza del suono ne riesce modificata.

663. Leggi delle dimensioni omologhe. — Nelle vibrazioni delle masse gasose si ritrova la legge generale enunciata al § 660. Se, infatti, si pongono sul mantice due tubi prismatici simili (fig. 606), le di cui dimensioni omologhe sieno nel rap-

porto di 2 a 1, facendoli parlare, si riconoscerà che il suono prodotto dal tubo più piccolo, è esattamente l'ottava alta di quello prodotto dall' altro tubo; cioè, appunto, che il numero di vibrazioni eseguite dal piccolo tubo, è doppio di quelle eseguite contemporaneamente dal più grande.

664. Leggi di Bernoulli. — La legge precedente si applica a tubi di forma qualunque, e dei quali tutte le dimensioni sono comparabili fra loro. Quando si tratti di tubi, la di cui lunghezza è assai maggiore delle dimensioni laterali, si trovano delle leggi speciali, conosciute sotto il nome di leggi di Bernoulli, che formano il fondamento principale della teoria degli istrumenti a fiato.

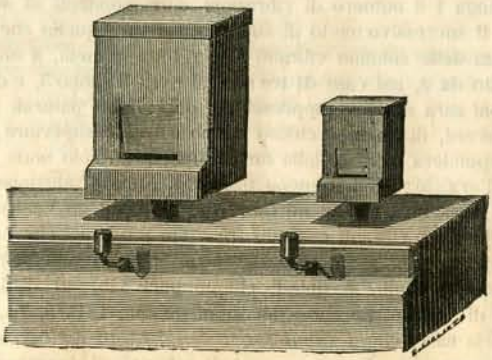


Fig. 606.

1.° *Leggi delle armoniche in un tubo aperto.* — Si pone sul mantice un tubo aperto *B* (fig. 607), si abbassa il tasto corrispondente, e si apre gradualmente il rubinetto posto alla parte inferiore del tubo stesso; si comincia dal sentire un suono grave, poco intenso; è il suono fondamentale del tubo. Man mano che si apre il robinetto, e si aumenta la velocità del soffio col premere sul mantice, si ode una serie di suoni, di più in più acuti. Questi suoni sono le armoniche del tubo aperto.

Prendendo per unità il numero di vibrazioni rese dal suono fondamentale, i numeri di vibrazioni delle successive armoniche sono espressi dai numeri 2, 3, 4, 5, vale a dire della serie, dei numeri naturali.

2.° Se si ripete la stessa esperienza con un tubo *A*, chiuso al suo estremo superiore, si constata una serie di armoniche, rappresentata dai numeri 1, 3, 5, 7, ... vale a dire, dalla serie dei numeri dispari.

Si spiegano i risultati procedenti, assimilando le vibrazioni delle colonne d'aria nei tubi sonori, alle vibrazioni longitudinali delle corde e delle verghe.

Le armoniche sono determinate dalla divisione spontanea della colonna in un certo numero di parti, vibranti all'unissono fra loro, e separate da nodi o da ventri di vibrazione. Nel caso dei tubi so-

Fig. 607.

nori, la posizione dei ventri o dei nodi, si trova necessariamente determinata dalla condizione che, al fondo di un tubo sonoro, deve necessariamente corrispondere un nodo, e che all'orificio e all'estremità aperta devono necessariamente corrispondere dei ventri.

Ammettendo questa condizione, che appare evidente, si consideri dapprima un tubo aperto: il suono più grave corrisponderà, evidentemente, al caso in cui vi sia un solo nodo, posto al mezzo del tubo, tra i ventri corrispondenti alle due estremità. Si ponga 1 il numero di vibrazioni corrispondenti al suono prodotto in questo caso. Il successivo modo di suddivisione sarà quello che presenta due nodi; la lunghezza delle colonne vibranti sarà ridotta a metà, il suono sarà dunque rappresentato da 2, nel caso di tre nodi si avrà il suono 3, e così di seguito. La serie dei suoni sarà dunque rappresentata dai numeri naturali 1, 2, 3. . . . .

Se si tratta, invece, di un tubo chiuso al suo estremo superiore, il suono fondamentale corrisponderà al caso della formazione di un solo nodo al fondo, ed un sol ventre all'orificio; sia 1 il suono prodotto. Nella produzione della successiva armonica si avrà un nodo ad un terzo del tubo, ed un ventre ai due terzi; le lunghezze delle parti vibranti essendo tre volte più brevi che nel primo caso, il suono prodotto sarà dunque rappresentato da 3. Nel modo seguente di divisione, si avranno due nodi, e quindi cinque parti vibranti distinte; di qui il suono 5; e così di seguito. La serie dei suoni dunque 1, 3, 5, 7, ...

Da questa teoria nasce che, *i suoni fondamentali dati da tubi di diversa lunghezza, devono corrispondere a numeri di vibrazioni inversamente proporzionali alle lunghezze dei tubi.* Questa conseguenza è verificata dall'esperienza. Si vede pure che, *il suono fondamentale di un tubo chiuso, è all'ottava grave del suono fondamentale dato da un tubo aperto di ugual lunghezza.*

665. — Da questa teoria si deduce anche che se, in un tubo sonoro, si sostituisce una parete fissa allo strato d'aria occupato da un nodo, non ne deve rimaner modificata l'altezza del suono. Se ne deduce pure, che l'altezza non sarà modificata, se si pongono in comunicazione coll'atmosfera i punti corrispondenti ai ventri. Si verifica quest'ultima conseguenza nel seguente modo: si prende un tubo formato da due parti avvitate l'una sull'altra, e tali da fornire la seconda armonica 2. Si ha per tal modo un ventre intermediario, situato al punto di giunzione dei tubi. Ora se, mentre il tubo parla, si svita la parte superiore, il suono conserva la sua altezza.

666. Origine dei nodi e dei ventri. — I nodi ed i ventri hanno per origine l'interferenza dell'onda diretta, prodotta all'imboccatura, e di un onda riflessa, formatasi all'estremità del tubo. Nel caso di un tubo chiuso, il fenomeno è identico a quello che venne indicato al (640) nella spiegazione del meccanismo di propagazione del suono. Se ne conclude immediatamente, che i nodi successivi distano fra loro di una mezza lunghezza d'onda; lo stesso dicasi dei ventri. Nel caso dei tubi, aperti si ha pure un'onda riflessa, ma in una condizione fisica diversa. Infatti, lo strato d'aria che occupa esattamente l'estremità, si distende nell'aria esterna; questo movimento di dilatazione si trasmette all'indietro nel tubo, sotto forma di un'onda riflessa, che differisce da quella che si produce in un tubo chiuso, per ciò che le due velocità agli estremi, invece di essere uguali e contrarie, sono uguali e dello stesso senso. Ne deriva, che all'estremo del tubo si trova un ventre, invece di un nodo; ma il risultato relativo alla distribuzione dei nodi e dei ventri è sempre lo stesso, e l'intervallo che li separa l'uno dall'altro, è sempre uguale ad una mezza onda.

667. Applicazione alla misura della velocità del suono nei diversi gas. —

La mezza lunghezza d'onda è lo spazio percorso dal suono, durante il tempo impiegato dal corpo sonoro ad eseguire una vibrazione (640). Se si pone t questo tempo, λ la mezza lunghezza d'onda, e v la velocità del suono, si ha dunque la relazione $\lambda = v\,t$. Sia n il numero di vibrazioni eseguite dal corpo sonoro in un secondo, la durata t di una vibrazione sarà $\frac{1}{n}$, e, di conseguenza, la formola precedente fornisce:

$$v = n\,\lambda,$$

formola assai semplice, che si può considerare come il risultato della teoria di Bernoulli, e che lega la velocità v alle due quantità n e λ, facili da determinarsi.

La quantità n si misura coi metodi indicati al capitolo *A*; la quantità λ si può determinarla facendo scorrere uno stantuffo in un tubo sonoro, in modo da fargli occupare due nodi successivi. Gli è questo il principio delle esperienze mediante le quali, Dulong e, più recentemente, Wertheim hanno determinata la velocità del suono in diversi gas, suc-

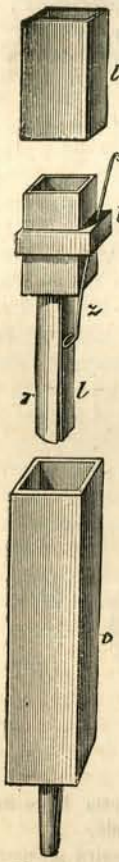


Fig. 608.

Fig. 609.

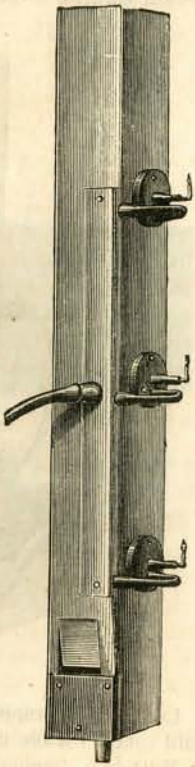


Fig. 610.

cessivamente impiegati a far parlare uno stesso tubo. Ecco i risultati ottenuti in tal modo:

Aria	m.i	331	Acido carbonico	m.i	262
Ossigeno	»	317	Protossido d'azoto	»	262
Idrogeno	»	1,269	Gas olefacente	»	314
Ossido di carbonio	»	337			

Si osservi che lo stesso principio è applicabile alla misura della velocità del suono nei liquidi; basta perciò di farli vibrare, come i gas, in un tubo. Il metodo è pure applicabile ai solidi, giacchè, nelle vibrazioni longitudinali delle verghe, l'intervallo tra due nodi dev'essere considerato come la mezza lunghezza dell'onda che si propaga nel solido; si potrà dunque applicare la formola $v = n \lambda$ a misurare la velocità di propagazione del suono nei solidi. Gli è con questo metodo che si sono ottenuti i dati della tavola data alla pagina 599.

668. Tubi a pivetta. — I tubi descritti al § 661 sono detti a *bocca;* si fa anche uso di tubi a *pivetta* (fig. 608). La pivetta è formata da una lamina elastica *l*, che chiude un canalletto *r*. L'aria giunge dal mantice nel tubo *t*, scuote la laminetta elastica, la pone in vibrazione, e sfugge pel tubo *t'*. L'asticina *z*, scorrevole a sfregamento duro nel foro *b*, limita la parte vibrante della linguetta. I tubi a pivetta son spesso terminati, alla loro parte superiore, da una spece di cornetto arrotondato.

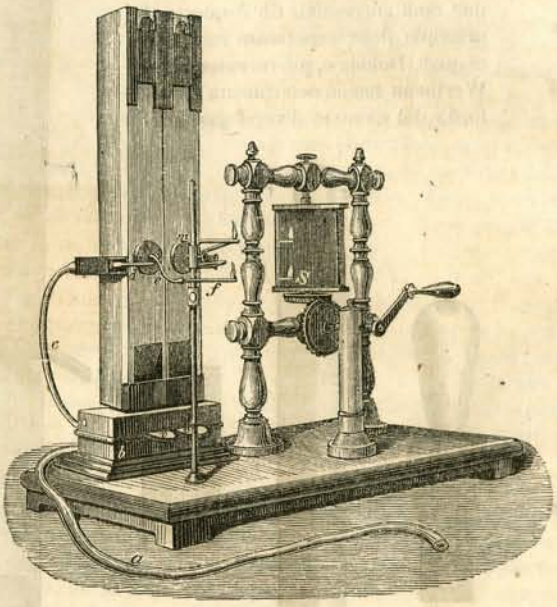


Fig. 611.

La figura 608 rappresenta un tubo a *linguetta battente;* la linguetta batte infatti contro i lembi del canaletto; ciò dà al suono un carattere nasale.

Nei tubi a *linguetta libera* (fig. 609), la linguetta entra nella finestra *p*, senza toccarne i lembi; si ottiene così un suono assai più dolce.

I suoni dei tubi a pivetta, quando si sforzi l'aria, aumentano di intensità entro limiti abbastanza estesi, senza cambiare d'altezza. Questa circostanza permette di ottenere l'*espressione;* ciò non permettono i tubi a bocca che, in tale circostanza, *ottavano*, vale a dire, producono delle armoniche superiori.

669. Istrumenti a fiato. — Gli istrumenti a fiato sono, od a bocca, od a pi-

vetta. La prima categoria contiene il flauto ed il piffero. Il clarinetto, l'oboe, ecc., hanno una linguetta formata da una lamina di canna, fissata sull'imboccatura dell'istrumento. Nel corno, nelle trombe, le funzioni della linguetta sono devolute alle labbra del suonatore. Le diverse note costituenti un motivo, nei tubi semplici, come il corno e le trombe, si ottengono facendo uso delle armoniche superiori, le quali si trovano abbastanza vicine per costituire la gamma. I fori del flauto, del clarino, quando vengono aperti, fanno nascere dei ventri corrispondenti, e danno quindi origine ad una armonica determinata. Nel trombone, nelle trombe a chiavi, si può con queste far variare la lunghezza della colonna vibrante.

670. Fiamme manometriche. — Il signor Kœnig da molti anni applica allo studio della costituzione dell'aria in un tubo sonoro, una disposizione ingegnosa, rappresentata dalla figura 610. Tre piccoli becchi a gas sono disposti lungo un tubo; i due estremi son posti di contro ai nodi, per esempio, quello di mezzo, di contro ad un ventre.

Il gas che alimenta questi becchi non è separato dall'aria interna del tubo, che dà una leggera membrana verticale. Se si fa parlare il tubo, le fiamme dei nodi vengono vivamente agitate, in causa delle condensazioni e delle espansioni della massa gasosa, mentre quella corrispondente al ventre, rimane pressochè immobile.

L'agitazione della fiamma è una vera vibrazione; così, se la si osserva in uno specchio girante, essa offre l'aspetto di una serie di lingue, separate da intervalli neri, la di cui distribuzione dipende dalla natura delle vibrazioni.

Gli è facile rendersi conto di questa apparenza. Infatti, durante la vibrazione della fiamma, questa prova delle successive variazioni di lunghezza; a ciascuna di queste lunghezze corrisponde un'immagine, che non ha sempre la stessa posizione, giacchè lo specchio gira in modo continuo. Si vedrà dunque una base comune, formata dalla regione al di sotto della quale la fiamma non si abbassa mai, e da una serie di linguette distinte.

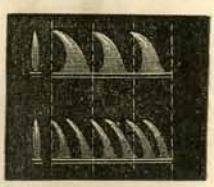


Fig. 612.

Se si pongono allato l'uno all'altro due tubi che danno suoni all'ottava fra di loro (fig. 611), si vede distintamente, a fianco dell'immagine del suono basso, un altra immagine, formata da un numero doppio di lingue, le une coincidenti press'a poco con quelle della prima (fig. 612), le altre situate nell'intervallo che le separa.

CAPITOLO IV.

STUDIO OTTICO DEI SUONI. METALLO.

671. Studio ottico del suono. — Il suono è una sensazione specifica percepita dall'udito, ma può rendersi manifesta anche ad altri sensi; così, la mano sente il fremito di un corpo sonoro, l'occhio vede la sabbia agitarsi su di una lamina vibrante, uno stilo tracciarne le vibrazioni sul vibroscopio, ecc. Questa spece di ajuto,

che si possono prestare i diversi sensi per apprezzare un fenomeno, che sembrerebbe dipendere che da un solo fra essi, è assai interessante. Il signor Lissajous ha fatto dell' investigazione ottica del suono una curiosa applicazione, della quale diremo sommariamente.

672. Esperienza di Lissajous. — Si supponga che si introduca in una camera oscura un fascio di raggi solari, il quale, concentrato da una lente (fig. 613), venga riflesso, dapprima da uno specchietto applicato ad uno dei rami di un diapson *F*, quindi da un secondo specchio, e finalmente vada a cadere sullo schermo, *m n*; si formerà su questo schermo un'immagine del sole, che si potrà rendere assai distinta e brillante, disponendo convenientemente la

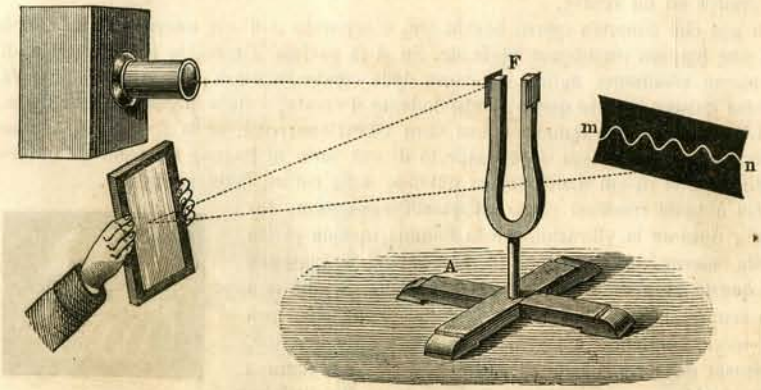


Fig. 613.

lente. Se i due specchi sono immobili, l'immagine sarà pure immobile; ma, se si fa vibrare il diapson, attaccandolo in modo da farne vibrare i rami nel loro piano, l'immagine riflessa oscillerà secondo una direzione verticale, ed, in causa della persistenza delle impressioni luminose nell' occhio, questo scorgerà una linea luminosa verticale. Se, essendo in riposo il diapson, si facesse girare lo specchio intorno ad un asse verticale, l' immagine proverebbe uno spostamento nel senso orizzontale. Se, dunque, si producono questi due movimenti ad una volta, se, per esempio, si fa vibrare il diapson mentre lo specchio si muove, si osserverà sullo schermo una linea sinuosa *m n*, della quale, ogni sinuosità corrisponde ad una vibrazione del diapson.

Si supponga ora che si sostituisca lo specchio mobile con un secondo diapson, il di cui piano sia perpendicolare a quello del primo diapson, ed uno dei suoi rami sia munito pure di uno specchietto; se si farà vibrare da solo questo diapson, l' imma-

gine proverà uno spostamento orizzontale, simile a quello che produceva la rotazione dello specchio, salvo che questo spostamento avrà un carattere oscillatorio; l'occhio vedrà sullo schermo una linea luminosa, la di cui lunghezza decrescerà gradualmente colla vibrazione. Se si fanno vibrare ad una volta i due diapson, la piccola immagine del sole potrà considerarsi come animata da due movimenti, l'uno nel senso verticale, e l'altro nel senso orizzontale, e possiederà quindi, un certo movimento risultante, che si manifesterà con una certa curva, la di cui forma dipende dal rapporto dei due suoni, vale a dire, dalle velocità relative dei due specchietti. Invece di projettare il fenomeno, si può osservarlo direttamente per mezzo di un cannocchiale; si ricorre allora alla disposizione indicata dalla figura 614.

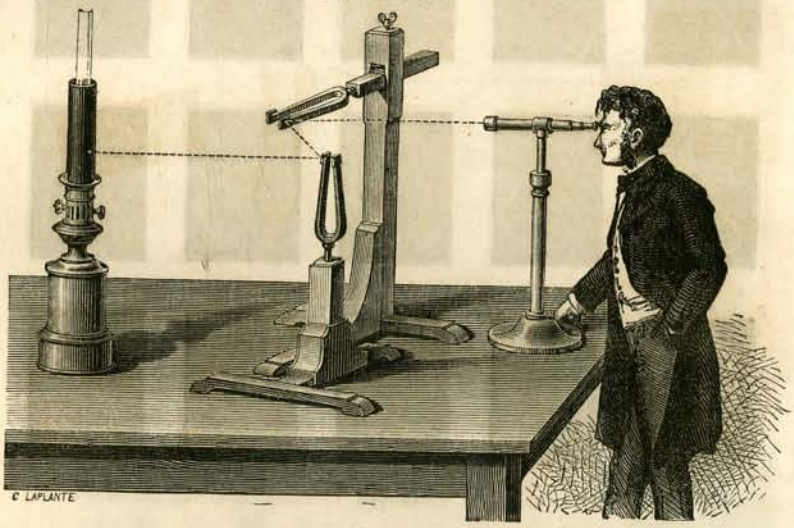


Fig. 614.

Si supponga che i due diapson sieno all'unissono; i due movimenti vibratori hanno allora lo stesso periodo, ed il calcolo indica, per questo caso, che la curva è, in generale, un elisse. Questo elisse può diventare un circolo, quando le ampiezze dei movimenti vibratori sono uguali, ed anche una linea retta, quando le fasi dei due movimenti sono pure uguali, o differiscono d'una lunghezza d'onda. Si vede dunque che i due diapson essendo all'unissono, si dovrà osservare una figura od elittica, o circolare, o rettilinea. Se l'unissono fosse rigoroso, una data figura persisterebbe, provando solo una diminuzione nelle dimensioni, corrispondente alla diminuzione dell'ampiezza del movimento vibratorio. Ma tale unissono rigoroso

non si ottiene mai; si ha sempre una piccola differenza, quantuque questa possa essere tanto piccola da sfuggire all'orecchio il meglio esercitato Questa differenza si manifesta otticamente con due caratteri: primo, la traccia della curva riesce leggermente alterata; però, se l'unissono è vicino, questa alterazione non modifica sensibilmente la fisonomia della linea luminosa, la quale presenta sempre una delle forme caratteristiche dell' unissono: secondo, e questo è il carattere il più importante, la piccola differenza di altezza conduce ad una differenza di fase gradualmente crescente, di

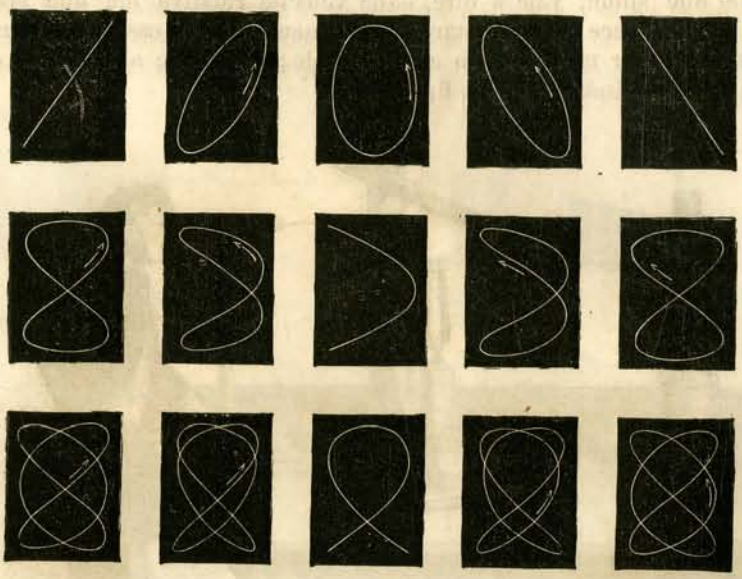


Fig. 615.

di modo che, invece di ottenere una sola delle figure, si ha una serie di figure, passanti l'una dall'altra, e riproducentesi periodicamente nello stesso ordine. Gli è una spece di oscillazione della figura acustica, la di cui durata sarà tanto maggiore, quanto più l'unissono è vicino ad esser rigoroso. Nella figura 615 sono rappresentate, nella prima linea, le figure acustiche dell'unissono, sulla seconda quella dell'ottava, e sulla terza quelle della quinta.

673. Comparatore ottico. — Questa circostanza permette di comparare diversi diapson ad uno stesso diapson normale, con una precisione, senza alcun confronto, superiore a quella di cui è suscettibile l' orecchio il più delicato. È in ciò che il metodo del signor Lissajous presenta il maggior interesse, in quanto che, esso permette ad uno dei sensi di supplire all'altro, quando questo divienta insufficiente. L'apparecchio del signor Lissajous è formato da un diapson normale *f* (fig. 616), del quale uno dei rami è munito di una lente obbiettiva. Al disopra

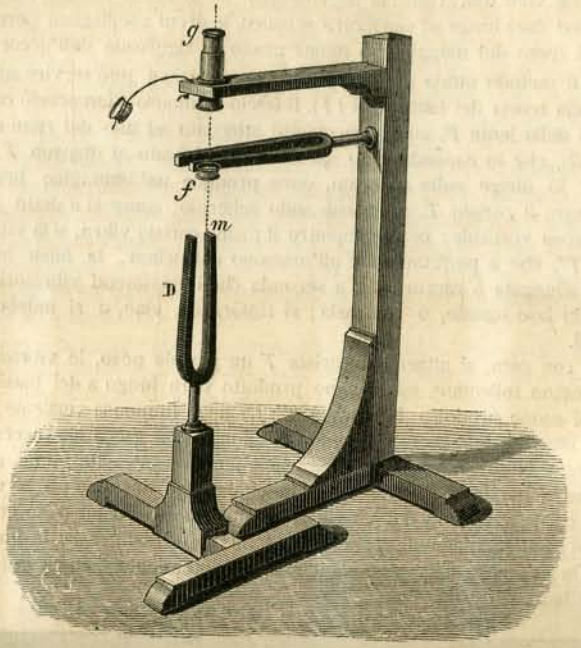


Fig. 616.

e disposto un oculare *g*, formante coll'obbiettivo un vero microscopio. Il diapson da comparare presenta su uno dei rami, un punto finissimo *m*, tracciato col dia-

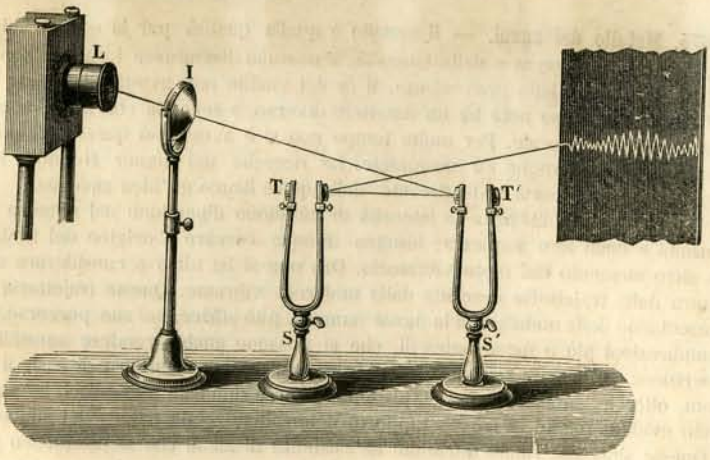


Fig. 617.

mante, e che vien osservato col microscopio. Se si fanno vibrare i due diapson, questo punto darà luogo ad una figura acustica, le di cui oscillazioni permetteranno di rendersi conto del maggiore o minor grado di rigorosità dell'accordamento.

674. — Il metodo ottico può, fra le molte applicazioni, può servire anche di illustrazione alla teoria dei battimenti (?). Il fascio luminoso vien perciò concentrato, per mezzo della lente *F*, sullo specchietto attaccato ad uno dei rami del diapson *T'* (fig. 617), che lo rimanda sullo specchietto applicato al diapson *T*, il quale a sua volta, lo dirige sullo schermo, dove produce un' immagine brillante. Facendo vibrare il corista *T*, si ottiene sullo schermo, come si è detto sopra, una linea luminosa verticale: ora se, mentre il primo corista vibra, si fa vibrare anche il corista *T'*, che è perfettamente all'unissono col primo, la linea luminosa ne riesce od allungata o raccorciata, a seconda che i movimenti vibratori dei coristi accadono in fase uguale, o contraria; si rinforzano, cioè, o si indeboliscono nei loro effetti.

Ora se, con cera, si attacca al corista *T* un piccolo peso, le vibrazioni di questo rimarranno rallentate, ed il suono prodotto darà luogo a dei battimenti assai distinti col suono prodotto dal corista *T'*. La linea luminosa verticale si presenta, in questo caso, di lunghezza variabile; si allunga e si raccorcia successivamente, e ciò ad ogni battimento: ciò si spiega facilmente osservando come, ad ogni battimento, corrisponde un rinforzo ed un indebolimento di suono; si ha cioè, un momento in cui i movimenti dei coristi si sommano, ed un' altro in cui si contrastano. Movendo rapidamente il corista *T*, si può trasformare la linea luminosa verticale in una bella linea sinuosa, che indica nettamente l' andamento del fenomeno dei battimenti (fig. 618).

Fig. 618.

675. Metallo dei suoni. — Il metallo è quella qualità per la quale, indipendentemente dall'altezza e dalla intensità, si possono distinguere i suoni l'uno dall'altro, a seconda della provenienza. Il *la* del violino non assomiglia affatto al *la* del flauto. La stessa nota ha un carattere diverso, a seconda che la si canta con una o coll' altra vocale. Per molto tempo non si è avuto, su questo argomento, che delle nozioni vaghe ed incomplete. Le ricerche del signor Helmoltz hanno condotto ad una teoria soddisfacente, della quale diamo un'idea succinta.

Si osservi che l'altezza e la intensità di un suono dipendono dal numero di vibrazioni e dalla loro ampiezza; bisogna dunque cercare l' origine del timbro in un altro elemento del moto vibratorio. Ora non si ha altro a considerare che la natura della trajettoria descritta dalla molecola vibrante. Questa trajettoria, pur presentando delle ondulazioni in ugual numero, può offrire, nel suo percorso, delle complicazioni più o meno notevoli, che si possono anche rendere sensibili coll'iscrizione grafica. Si riscontra infatti, che, nel maggior numero di casi, il tracciato, oltre le sinuosità generali, presenta diverse sinuosità particolari, le quali devono evidentemente avere un rapporto determinato colla natura del suono.

Queste sinuosità vanno attribuite all'esistenza di suoni che si producono simultaneamente col suono principale. Si è visto infatti, che, in qualunque sistema vibrante, si ha un numero grandissimo di suoni possibili, designati col nome di

armoniche. Questi suoni possono coesistere col suono fondamentale, e possono farsi udire separatamente. Nel primo caso può darsi che l'orecchio li possa separare, eseguendo, per ascoltarli, uno sforzo speciale; ma può darsi anche che quei suoni formino una spece di accompagnamento indivisibile dal suono fondamentale, e costituente appunto la causa del metallo. La seguente esperienza del signor Kœnig, spiega assai nettamente questa doppia sensazione. Sopra una tavola armonica si aggruppano, un grosso diapson, che dà un suono assai grave, ed una serie di piccoli diapson, che forniscono le diverse armoniche. Se si pone in vibrazione tutto il sistema, si produce un suono grave, armonioso e che, a meno che si faccia uno sforzo speciale, sembra unico. Si arresti il movimento del grosso diapson, ed ecco che immediatamente si distinguono nettamente le armoniche che lo accompagnavano. Si ha dunque una serie di armoniche, suscettibili di fondersi col suono principale, la di cui coesistenza ordinaria con quello, ne costituisce il metallo.

Tutti i corpi sonori producono spontaneamente delle armoniche; non vi sono che i tubi d'organo di grandi dimensioni, che forniscano dei suoni semplici, e la pratica ha insegnato che, in questo caso, si ha vantaggio a supplire artificialmente alla mancanza delle armoniche. Ciò che dicesi *fornitura*, nell'organo, è un assieme di tre a sette tubi, accordati alla quinta o all'ottava l'un dell'altro; ne risulta un accompagnamento di suoni acuti, che, fondendonsi col suono principale, gli impartiscono un carattere, un metallo particolare. Si è dunque condotti a pensare, come Rameau l'aveva presentito, fa già più d'un secolo, che il metallo di un suono è dovuto alla presenza di certe armoniche, che nascono nello stesso tempo del suono stesso.

Fig. 619.

Un suono è dunque, in generale, il risultato della sovrapposizione di più suoni; così, come il colore degli oggetti naturali, risulta dalla sovrapposizione di diversi colori semplici; si noti poi che le diverse particolarità accessorie alla produzione del suono, il rumore dell'emissione dell'aria negli istrumenti a fiato, l'aggrapparsi crini dell'archetto sulle corde, ecc., aggiungono pure la loro influenza alla causa particolare del metallo.

676. Risonatori di Helmoltz. — Il signor Helmoltz ha confermata la sua teoria con esperienze relative all'analisi dei suoni composti. Egli si appoggiò sul fatto della comunicazione del movimento vibratorio, e dell'attitudine di certe masse limitate di gas a vibrare all'unissono con certi suoni. L'istrumento di cui esso si serve, porta il nome di *risuonatore*; ed è formato da un globo cavo (fig. 619) di rame o di ottone, munito di due aperture. Una di queste forma come una spece di padiglione, l'altra è affilata in modo da poterla introdurre nell'orecchio. Le dimensioni dei risonatori sono scelte in modo da vibrare all'unissono con suoni determinati; essi son dunque capaci di rinforzare esclusivamente i suoni pei quali furono accordati.

Ciò posto, se si vuole analizzare un suono complesso, si sostiene per qualche tempo questo suono, e si introducono successivamente nell'orecchio i differanti

risonatori; quando si produce un rinforzo pronunciato, vuol dire che il suono proprio al risonatore, è uno degli elementi del suono che si studia.

L'esperienza può venir disposta in modo tale, che molte persone possano simultaneamente apprezzarne l'effetto. Una serie di risonatori (fig. 620), accordati per la serie delle armoniche 1, 2, 3, 4, 5, 6, sono posti verticalmente l'uno sull'altro, in faccia ad uno specchio girevole. Ciascuno dei risonatori comunica, per la minore apertura, con una capsula manometrica, munita del suo becco a gas.

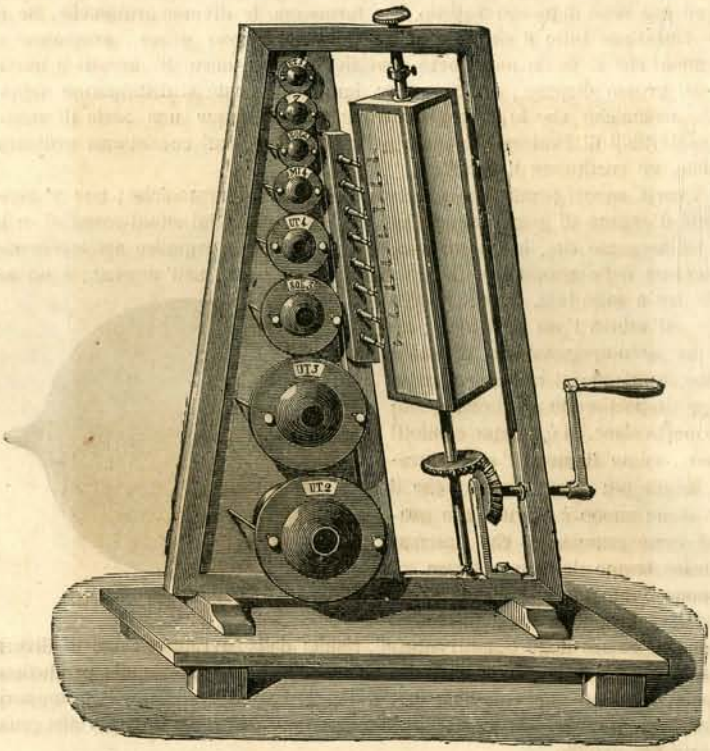


Fig. 620.

Quando si faccia girare lo specchio, è assai facile di distinguere quali delle fiamme sono influenzate dal suono che si studia. Il corpo sonoro su cui si sperimenta, viene, mentre si fa girare lo specchio, fatto scorrere innanzi ai padiglioni dei risonatori.

Gli è alla presenza di certe o cert'altre armoniche, che i suoni devono il loro metallo, e quindi una parte dell'impressione che essi possono produrre. Così, per esempio, le campane, i cimbali, forniscono sempre dei suoni accompagnati da armoniche sopraccute e discordanti; gli è pure per tal fatto, che, raramente, i *carillons* producono un effetto aggradevole.

La voce umana è molto ricca in armoniche; nella glottide se ne produce un gran numero, ma non rimangono rinforzate che quelle che possono determinare

la vibrazione della massa d'aria della bocca. Sta in ciò l'origine delle vocali; queste, secondo la teoria di Helmoltz, non sono che il timbro particolare preso da una nota, in conseguenza della risonanza dell'aria della bocca, risonanza il di cui effetto è quello di rinforzare, fra le armoniche, quella che più si approssima ad una certa nota fissa e caratteristica. Così, per esempio, la vocale *A* risulta della risonanza del *si*♭$_4$. Queste note caratteristiche possonsi scoprire, facendo passare dinanzi alla bocca aperta una serie di diapson, emettendo una vocale, ed osservando quali sono quei coristi il di cui suono vien rinforzato.

La figura 621 rappresenta le curve tracciate col fonautografo, in diversi casi.

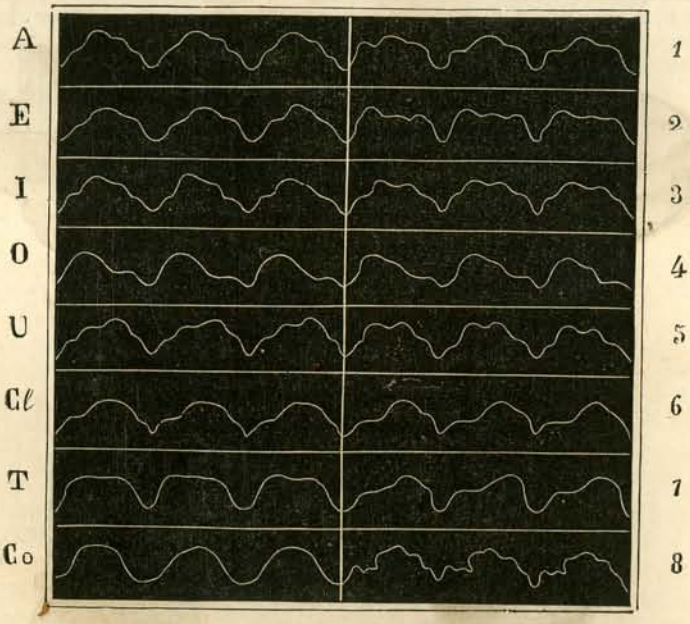


Fig. 621.

Ogni spazio orizzontale presenta due curve alquanto diverse, ma corrispondenti però al medesimo suono; questa differenza tra le due curve, dipende dalla maggiore o minor chiarezza, od energia, colla quale il suono viene prodotto. Le prime cinque, sono le curve ottenute mediante la robusta voce di un baritono, che cantava il *sol*, mentre pronunciava, con minore o maggior chiarezza, rispettivamente le vocali *A*, *E*, *I*, *O*, *U*. La sesta è la curva ottenuta col clarino; la settima quella ottenuta colla tromba. L'ottava è la curva ottenuta da Quincke, con una corda vibrante: la prima metà di questa curva corrisponde al caso di una corda sfregata ad un terzo della sua lunghezza; l'altra metà, al caso in cui la corda stessa era sfregata ad un ventesimo della sua lunghezza.

677. Sintesi dei suoni. — Il signor Helmoltz ha verificata la sua teoria, facendo la sintesi dei suoni. Egli si è servito, a tale scopo, di una serie di diapson, mantenuti in vibrazione dalla magnetizzazione e dalla smagnetizzazione di elettromagneti, animate esse stesse da un diapson interruttore, che produce 128 vibrazioni al se-

condo. I diversi diapson sono accordati alle armoniche del suono di 128 vibrazioni al secondo. Innanzi a ciascun istrumento si trova un tubo inforzante, chiuso da un disco, che può venir spostato per mezzo di un tasto, come nel pianoforte. Si può così, abbassando gli opportuni tasti, far variare le armoniche rinforzanti, e produrre, assai distintamente, il metallo proprio a ciascuna vocale (1).

(1) **678. Telefoni.** — La proprietà presentata in particolar modo dalle lamine di vibrare all'unissono coi corpi sonori posti in loro vicinanza (655), ha dato origine ad invenzioni sorprendenti, e sotto l'aspetto dello scopo ottenuto, e, non

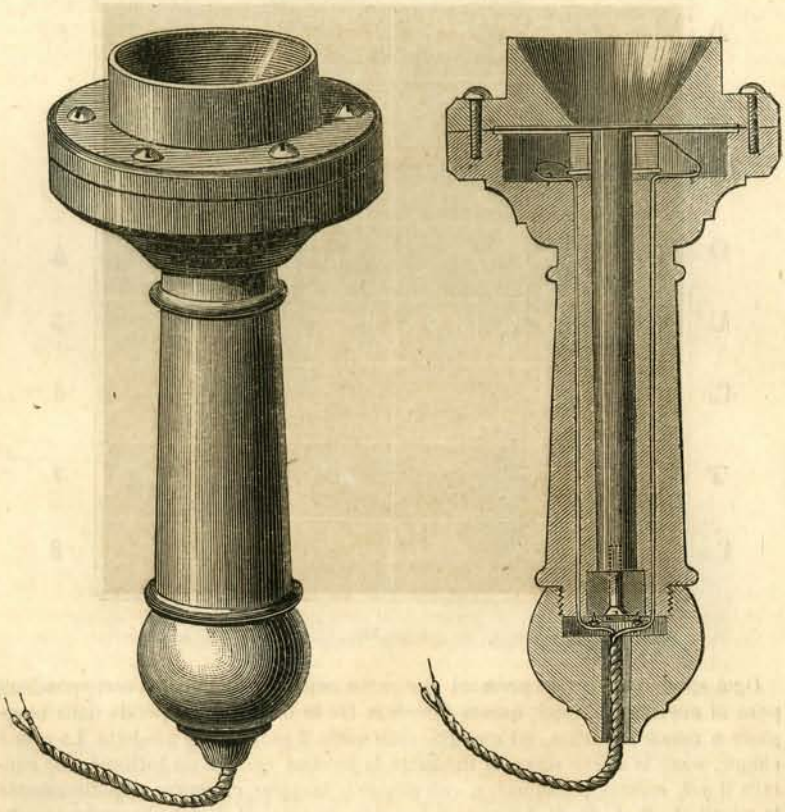


Fig. 622. Fig. 623.

meno, sotto quello della estrema semplicità dei mezzi a ciò adoperati. Il *telefono*, il *fonografo*, il *microfono*, a breve intervallo di tempo, vennero a far meravigliare il mondo, col realizzare scopi, che si sarebbero creduti inarrivabili.

I telefoni, come lo indica il loro nome, sono istrumenti destinati a trasmettere lontano il suono. Il telefono del signor Graham Bell è formato (fig. 622) da un'astuccio di legno, avente la forma di un'impugnatura, terminato da una parte ad imbuto, od imboccatura, dietro la minor apertura della quale si trova

una lamina esilissima di ferro. Dietro a questa lamina, ed a piccola distanza da essa, è collocata un'asticina d'acciajo magnetizzato (fig. 623), disposta perpendicolarmente alla lamina stessa. Un piccolo rocchello, sul quale è avvolto del filo di rame isolato, circonda l'estremo dell'asticina, più vicino alla membrana: i capi del filo escono dall' istromento isolati e riuniti a mo' di cordone. Ecco in cosa consiste il telefono Bell. L'apparecchio trasmittente ed il ricevente sono affatto identici, cosichè, lo stesso istrumento, può servire al doppio ufficio di trasmettitore e di ricevitore del dispaccio verbale. Completato, direttamente, o per mezzo della terra. il circuito contenente i due apparecchi, se una persona parla in modo spiccato innanzi all'imboccatura di uno di essi, le parole verranno percepite all'altra stazione da una persona, quando questa ponga all'orecchio l'imboccatura dell'apparecchio ricevente. Il giuoco dell'istrumento è facile da intendersi; la lamina metallica, vibrando sotto l'azione della voce, o di un suono qualunque, si avvicina e si allontana successivamente dall'estremo della magnete; si producono allora (608) nel rocchello delle correnti di induzione, successivamente in due sensi determinati e contrari, l' intensità delle quali

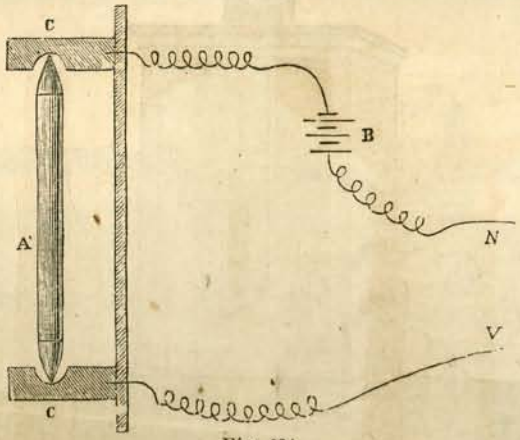


Fig. 624.

dipende dall'ampiezza delle vibrazioni della lamina. Queste correnti vanno a modificare di continuo la forza dell' asticina magnetica dell' apparecchio ricevente, cosichè, la lamina di questo, eseguisce delle vibrazioni, che riproducono fedelmente, sia in quanto al numero, come all' ampiezza relativa, quelle della lamina trasmittente; l'udito che riceve le onde sonore così provocate, percepisce le parole e tutti i dettagli che si riferiscouo alla voce; di modochè riesce facile, non solo di udire un discorso, ma ben anche di riconoscere, per tali dettagli, la persona che parla. È questa una delle particolarità più sorprendenti del telefono Bell. Si ha, in questo apparecchio, per così dire, una spece di doppia trasformazione, dell'onda sonora in onda elettrica, e di questa nuovamente in onda sonora. Solamente, il corpo di voce riesce notevolmente affievolito, ciò che si spiega facilmente colle perdite presentate dalla trasmissione. Il suono trasmesso non si ode che applicando l'istrumento all'orecchio; ciò dà origine al grave inconveniente di dover ricorrere all'ordinario mezzo di avviso, con una soneria, e quindi a quello di togliere il pregio notevole della soppressione della pila. Il signor Canestrini ha trovato rimedio a questo inconveniente, inventando una soneria, posta in attività mediante correnti magnetoelettriche, indotte alla stazione di partenza, con un'opportuna disposizione.

Il signor Gray ha pure inventato un telefono, destinato alla trasmissione dei suoni musicali, ed in particolar modo di quelli del pianoforte. Il diverso scopo raggiunto da questo e dal telefono Bell, spiega il diverso successo di queste due invenzioni.

Microfono. — Al signor Hughes, inventore del telegrafo stampante, si deve pure il microfono, apparecchio destinato ad amplificare in modo considerevole, ed a trasmettere lontano i suoni i più deboli, quelli anche impercettibili direttamente all' orecchio; questo istromento è dunque per l'udito, ciò che il microscopio è per la vista. L'apparecchio ricevente, che si applica all'orecchio, è il telefono Bell. Il trasmettitore è formato da una sottil tavola armonica, disposta verticalmente, ed unita ad angolo retto con un'altra tavola orizzontale, che serve di base all' istrumento. Sulla tavola verticale sono fissati due dadi *C, C* (fig. 624) di carbone di storta, disposti verticalmente l'uno sotto l' altro, e

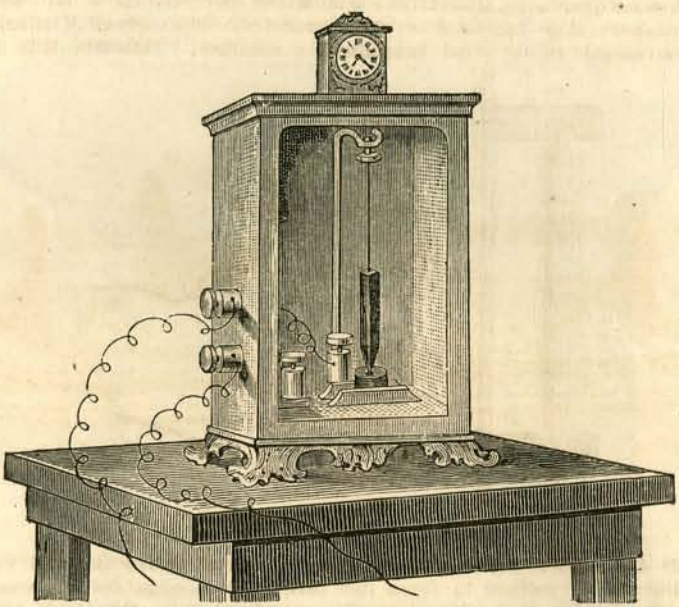


Fig. 625.

scavati nelle faccie che si prospettano. Fra queste due cavità è posta una matita di carbone *A*, leggermente appuntita alle estremità, sostenuta dal dado inferiore, ed appena appoggiata nella cavità del superiore, cosichè si trova in condizione di vibrare sotto il più leggero impulso. La matita, per mezzo dei due dadi, fa parte di un circuito, contenente una pila *B*, ed il telefono ricevente. Se sopra la tavoletta orizzontale del microfono si pone, per esempio, un orologio da tasca, si potrà distintamente udire a distanza, non solo il battito del bilanciere, ma ben anche il rumore prodotto dall'ingranarsi delle ruote. La figura 625 rappresenta una delle modificazioni fatte subire dal prof. Mocenigo al microfono, onde renderlo viemeglio sensibile, e poter modificare la pressione della punta di carbone contro la rispettiva cavità: perciò, l'asticina di carbone è sospesa con un filo di platino, entro una cassa armonica.

Il microfono, come trasmettitore telefonico, perfeziona, come già aveva provato il signor Edison, il telefono Bell, giacchè se ne ottiene un' articolazione

più sicura e netta. Il microfono apre, senza dubbio, un vasto campo alle investigazioni scientifiche.

Fonografo. — Il fonografo del signor Edison è destinato a riprodurre, a volontà, e quante volte si voglia, un suono, la parola stessa, con tutte le sue particolarità. L'istrumento è formato (fig. 626) da un cilindro *M* di metallo, che si può far girare intorno ad un'asse, disposto orizzontalmente: la superfice convessa del cilindro, e quella dell'asse, sono lavorate a vite di ugual passo; l'asse è sostenuto da due cuscinetti, uno dei quali funge da madrevite; ad uno dei suoi estremi si trova una manovella, all'altro un volante *V*, destinato a rendere regolare il movimento del cilindro; questo, mentre è in rotazione, in causa delle disposizioni sopra citate, si sposta a destra od a sinistra, a seconda del senso in cui lo si fa girare. La superfice convessa del cilindro vien poi rivestita con una sottile foglia di stagno, ben distesavi.

Dinanzi al cilindro si trova l'organo tracciante, formato da un pezzo A in forma di imbuto, immediatamente dietro al quale è incastonata una sottilissima lamina circolare di ferro; una legger molla porta un brevissimo stilo di ferro

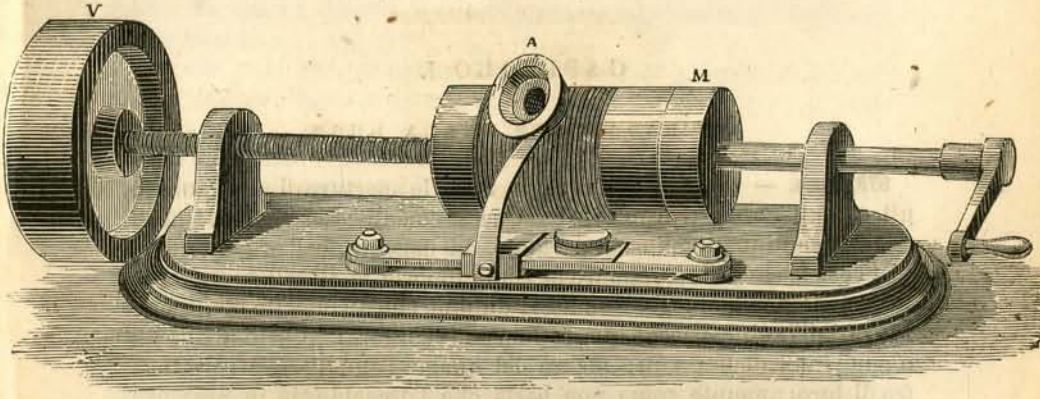


Fig. 626.

dolce, fissato al centro della faccia posteriore della lamina, per mezzo di un pezzetto di caoutchouc. Questa parte dell'apparecchio può venir avvicinata più o meno al cilindro.

Ciò posto, se si dispone questo organo tracciante in modo che lo stilo tocchi leggermente la stagnola, precisamente in corrispondenza al sottostante vano della spirale, e se, mentre si fa girare il cilindro, si parla o si produce un suono dinanzi all'imboccatura, lo stilo, seguendo i movimenti della lamina vibrante, inciderà sulle stagnola, secondo una spirale, una traccia, or più, or meno profonda, fedele immagine delle vibrazioni, piu o meno complesse della lamina. Dopo di ciò, se, ritirato l'organo tracciante, e ricondotto il cilindro alla posizione iniziale, si fa nuovamente appoggiare lo stilo nella traccia da lui impressa, e si fa girare il cilindro nel primitivo senso, lo stilo, così guidato, comunicherà alla lamina un moto vibratorio, che riprodurrà, all'orecchio accostato all'imboccatura, il suono, il discorso, primitivamente prodotti innanzi al fonografo.

Gli istrumenti ora descritti succintamente, qualora vengano opportunamente perfezionati, potranno certamente dar luogo ad applicazioni assai interessanti.

NOTA DEL TRADUTTORE.

LIBRO V.

OTTICA — CALOR RAGGIANTE

RADIAZIONI DIVERSE.

CAPITOLO I.

PROPAGAZIONE DELLA LUCE.

679. Luce. — Quando si chiudono tutte le aperture di una camera, gli oggetti che si trovano in essa, cessano dall'esser visibili. Questi oggetti continuano, ciò nonpertanto, ad esistere, e l'organo della vista esiste esso stesso, eppure nessun rapporto si stabilisce fra loro; la visione non ha luogo. Non basta dunque che un oggetto sia in presenza dell'occhio, perchè questo lo possa scorgere; occorre anche un agente intermediario, per mezzo del quale si stabilisce la relazione fra di loro; appunto come non basta che l'orecchio sia in presenza di un corpo vibrante, perchè percepisca un suono; questo suono non può esser percepito che per l'esistenza di un mezzo ponderabile ed elastico, capace di trasmettere il movimento all'organo dell'udito. Nel caso della visione, questo intermediario dicesi *luce*. I fisici, oggigiorno, sono d'accordo nell'ammettere che la luce è costituita da un fluido indefinitamente sottile ed elastico, detto *etere*, il quale riempie lo spazio e penetra la sostanza stessa dei corpi trasparenti. I corpi che son detti *luminosi* o *sorgenti di luce*, si trovano in un particolare stato di vibrazione; questa vibrazione si comunica all'etere, entro il quale essa si trasmette, da strato a strato, per onde analoghe a quelle sonore. Questo movimento raggiunge la retina, la quale ne resta impressionata; alla stessa guisa che lo sono le parti interne dell'orecchio, dalle onde sonore.

La luce è dunque, come il suono, una vibrazione. Come accade che quasi tutti i corpi possono divenir sonori, così tutti i corpi possono divenir luminosi. Basta perciò di elevare abbastanza la loro temperatura, sia direttamente coll'azione del fuoco, sia col mezzo

dell'elettricità, sia, come ha luogo più spesso, coll'intervento di un fenomeno chimico. Chiunque sa, che gli è alla combustione, la quale non è altro che una combinazione chimica, che si devono tutte le sorgenti di luce di cui si fa uso nell'economia domestica, nell'industria, e nelle arti.

Non sono solamente le impréssioni ottiche che producono le vibrazioni dell' etere, ma bensì anche le impressioni calorifiche. Ciò nonpertanto, la luce non incomincia che allorquando la vibrazione è diventata abbastanza rapida; precisamente come accade dell'orecchio rispetto ai movimenti ordinari. Quando le vibrazioni dell' etere hanno una velocità media, producono un' impressione puramente calorifica. Il movimento vibratorio dell' etere produce pure dei fenomeni chimici, i quali sono il fondamento della fotografia. Servono a questa funzione speciale, sopratutto le vibrazioni le più rapide.

Succede pure che, in causa della loro rapidità, queste onde cessano dall'impressionare la retina, mentre agiscono ancora ad eccitare l'azione chimica.

680. Propagazione rettilinea della luce. — Il movimento vibratorio dell'etere differisce assai da quello che serve a trasmettere il suono; la velocità di trasmissione è senza confronto più grande, e le onde, senza confronto più corte. Così, ai suoni più gravi usati nella musica, corrisponde una lunghezza d'onda di una decina di metri; le onde dei suoni più acuti sono di 5 o 6 centimetri di lunghezza, ed i suoni che, per la loro acutezza, non sono usati nella musica, possiedono un' onda lunga ancora circa 1 centimetro. Il fenomeno ottico che corrisponde all'altezza del suono è il colore. Il colore il più *grave* è il rosso. La lunghezza dell'onda che gli corrisponde è di 310 miglionesimi di millimetro, ciò che corrisponde a 514 *triglioni* di vibrazioni al secondo. Il violetto è il colore il più *acuto*; risulta da 752 triglioni di vibrazioni al secondo, e gli corrisponde una lunghezza d'onda di 212 miglionesimi di millimetro.

A questa particolarità si aggiunge un fenomeno assai importante, vale a dire che le onde, fermate da un ostacolo, non si ricompongono al di dietro di questo, come ha luogo pel suono. Anche nel caso del suono si ha una spece di *ombra sonora*, ma il fatto è poco sensibile, mentre è quasi assoluto per la luce; le cose procedono in modo, che la propagazione della luce deve considerarsi come effettuantesi esattamente in direzione rettilinea.

Si può dimostrare la propagazione rettilinea della luce colla seguente esperienza:

Dietro uno schermo forato da una piccola apertura *A*, si pone un lume *C* (fig. 627); ad una certa distanza si pone un secondo schermo, nel quale è pure praticata una piccola apertura *B*, alla

quale si applica l'occhio. Finchè i tre punti *A*, *B*, *C* sono in linea retta, l' occhio scorge il lume; ma, per poco che questa direzione rettilinea venga alterata, si cessa dal vedere il lume stesso. Si può dunque ammettere che, almeno nello stesso mezzo, la propaga-

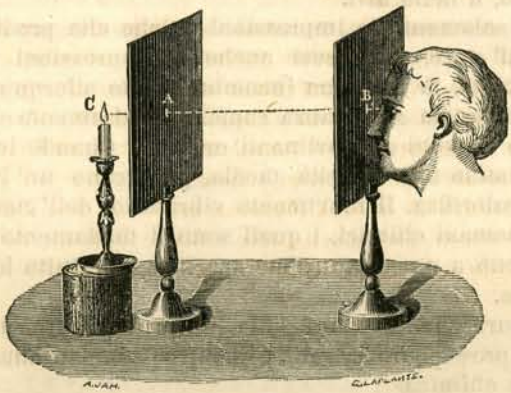


Fig. 627.

zione della luce si effettua in linea retta; si dà il nome di raggio luminoso a qualunque retta secondo la quale la luce si propaga. Invece di un solo schermo se ne potrebbero prendere parecchi, la dimostrazione riescirebbe più precisa.

In presenza di una sorgente di luce tutti i corpi divengono luminosi, vale a dire, assumono per comunicazione il movimento vibratorio caratteristico dell' impressione luminosa; essi devonsi dunque considerare, quanto le sorgenti, come centri, dai quali partono raggi luminosi, diretti in tutti i sensi nello spazio.

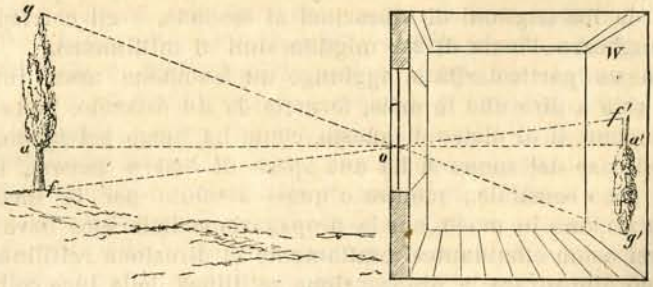


Fig. 628.

Si osservi però, che il fatto della propagazione rettilinea non è rigorosamente assoluto; diversi fenomeni, specialmente quelli di

diffrazione, dimostrano che le onde si ricostituiscono effettivamente dietro gli ostacoli; per osservarli però, occorrono condizioni speciali, che non si incontrano nelle ordinarie condizioni.

Qui non si tien conto di tali fatti, e si supporrà che i raggi luminosi sieno esattamente rappresentati da linee rette. Diversi fenomeni, assai semplici ed assai noti, possono trovare una spiegazione diretta in questa supposizione.

681. Camera oscura. — Se si pratica una piccola apertura nelle imposte di una camera perfettamente chiusa, e si pone, nella parete di contro all'apertura, uno schermo bianco, si vede su di questo l'immagine capovolta del paesaggio esterno (fig. 628). Questa immagine è tanto più distinta, quanto più piccola è l'apertura, e più lontani sono gli oggetti; di più, i colori, colle loro gradazioni, saranno pure fedelmente riprodotti.

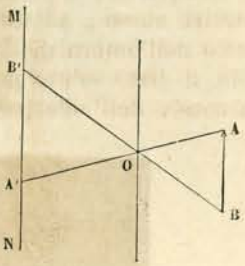


Fig. 629.

Questi effetti si possono spiegare assai facilmente. Si consideri infatti un oggetto esterno AB (fig. 629), e sia O la piccola apertura della camera. Il punto A manda dei raggi luminosi in tutti i sensi; fra di essi, un piccolo fascio entra dall'apertura O, e va a battere in A' sullo schermo. Il punto A' riceve luce dal punto A, e non ne riceve che da esso; non v'è, d'altra parte, un'altro punto dello schermo che riceva luce dal punto A; l'occhio verrà dunque impressionato dal punto A', come lo sarebbe dal punto A; in altri termini, il punto A' sarà l'immagine del punto A. Per l'istessa ragione, il punto B' sarà l'immagine del punto B. I punti che stanno fra A e B, formeranno la loro immagine tra A' e B'; si avrà dunque in A' B' un'immagine rovesciata dell'oggetto AB; si capisce che, se l'apertura è appena un po' grande, A' non sarà più un punto, ma una piccola superfice, comune sezione dello schermo col cono avente per vertice il punto A, e per base l'apertura. Lo stesso accadrebbe per tutti gli altri punti, cosicchè non si avrebbe unità di sensazione pei diversi punti dell'immagine; questa riuscirebbe, per la stessa ragione, alquanto confusa.

Si può eseguire l'esperienza della camera oscura sotto un'altra forma. Si interpone fra un lume ed uno schermo una carta, nella quale si è praticato un forellino per mezzo di uno spillo; si vede allora sullo schermo un'immagine rovesciata del lume. Se si opera in una camera oscura, ed il forellino è assai sottile, l'immagine ottenuta riesce assai netta.

Gli è per lo stesso motivo che, se si lascia entrare in una ca-

mera oscura un fascio di luce solare da una piccola apertura (fig. 630), esso forma un cono, reso visibile dai corpuscoli sempre nuotanti nell'aria, e rischiarati dalla luce solare stessa. A seconda dell'inclinazione del piano sul quale cade il cono, si forma un'immagine, ora circolare, ora elettrica, del sole.

Quando i raggi solari battono su di un albero coperto di foglie, i raggi che passano attraverso ai diversi interstizi, danno origine, qualunque sia la forma, naturalmente assai irregolare, degli interstizi stessi, ad immagini rotonde od ovali, che scorgonsi sul suolo nell'ombra dell'albero stesso. Al momento di un' eclisse di sole, il disco solare presenta la forma falcata, più o meno sottile, in causa dell' interposizione della luna. Se in tale circostanza si

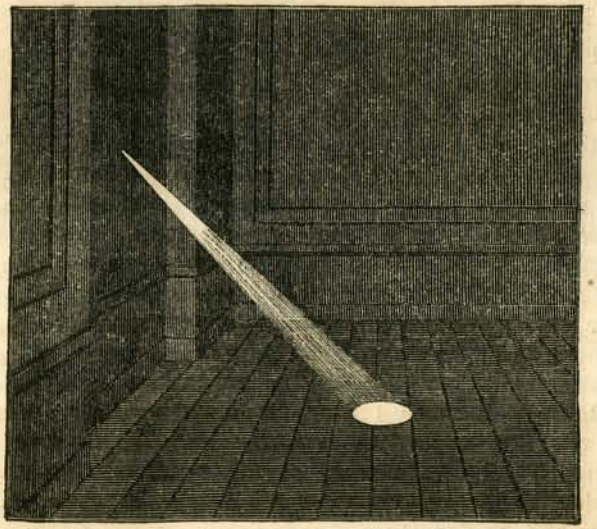


Fig. 630.

osserva l'immagine del sole nell' ombra degli alberi, si trova che tutte queste immagini hanno la forma falcata. Lo stesso fenomeno si osserverebbe nell' immagine ottenuta nella camera oscura, lasciando entrare i raggi solari da una piccola apertura.

682. Teoria delle ombre. — La propagazione rettilinea della luce serve di base alla teoria fisica delle ombre. Si imagini un corpo luminoso ridotto, per semplicità di ragionamento, ad un punto unico, e si ponga dinanzi ad esso un corpo opaco (fig. 631). Se si imagina un cono avente per vertice il punto luminoso, e la di cui superfice sia tangente alla superfice del corpo opaco, è chiaro che in questo cono, dietro il corpo opaco, non potrà passare alcun

raggio luminoso; questa porzione di spazio sarà dunque nell'oscurità, se non è presente altra luce che quella emanata dal punto luminoso; in ogni caso però, esso si troverà in un'oscurità relativa. Questo spazio è il cono d'ombra. L'intersezione del cono d'ombra

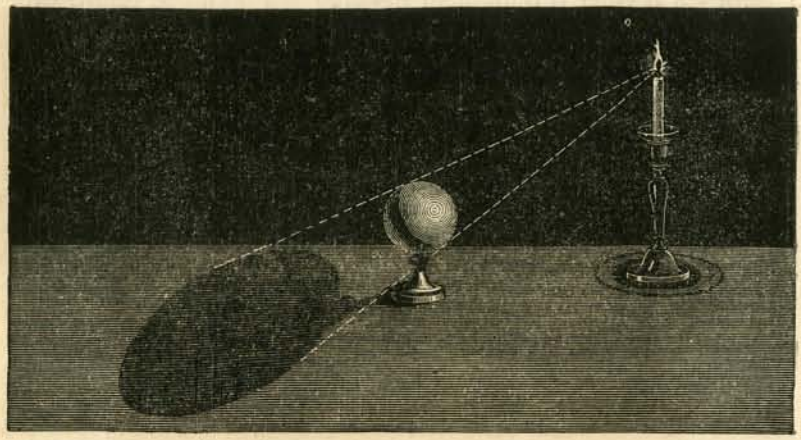


Fig. 631.

con una superfice, dà origine ad una parte più o meno nera, detta *ombra portata.*

Nel caso dell'ipotesi fatta di *un solo punto luminoso*, è chiaro che il cono d'ombra riescirà nettamente limitato; lo stesso dicasi

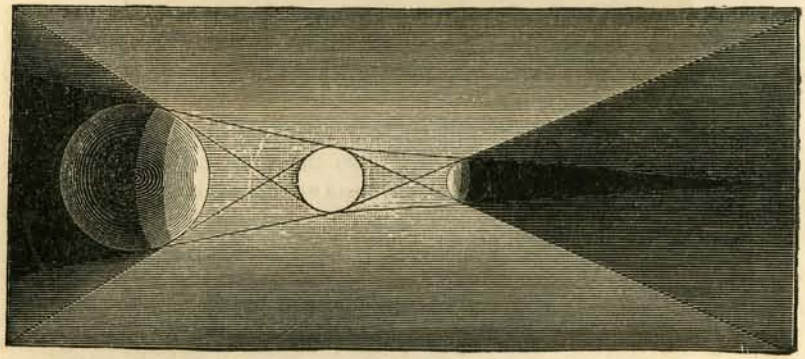


Fig. 532.

dell'ombra portata. Il caso però di un punto luminoso è una pura astrazione; il corpo luminoso presenta sempre una certa estensione, la quale è causa di complicazione nel fenomeno. Si consideri, per esempio (fig. 632), un corpo luminoso posto fra due corpi opachi,

dei quali uno abbia un volume minore, e l'altro maggiore, del volume del corpo luminoso. Si immaginino due coni, le cui superfici sieno tangenti *esternamente* al corpo luminoso, ed a ciascuno dei corpi opachi. La parte interna di questi due coni, al di là dei corpi opachi, costituisce il cono d'ombra; in nessuno dei punti di questi coni può giungere luce: la loro intersezione con uno schermo, fornisce una parte nera; è l'ombra propriamente detta. Si vede che il cono d'ombra è senza limite, quando il corpo opaco è più grande del corpo luminoso; è limitato, nel caso opposto.

Si immaginino ora due altri coni, tangenti *internamente* al corpo luminoso, ed a ciascuno dei corpi opachi; questi coni inviluppano, evidentemente, come lo mostra la figura, il cono d'ombra. Si vede anche come, nella porzione di spazio compreso fra i due coni, arriva una certa quantità di luce, tanto più grande quanto più si va avvicinandosi alla superfice conica esterna; tanto meno, quanto più si va avvicinandosi al cono interno. Questa porzione di spazio dicesi penombra. Se si osserva l'ombra portata sopra di uno schermo, la si vede formata da due parti distinte: una parte nera centrale, l'ombra propriamente detta, ed una parte grigia che l'avvolge, la *penombra*.

Questa penombra la si scorge anche sul corpo opaco stesso. Infatti, la linea di contatto del corpo col cono d'ombra è più lontana dalla sorgente di luce, della linea di contatto col cono di penombra. Al di là della prima linea non giunge luce; la porzione in avanti della seconda linea è pienamente illuminata; la parte poi compresa fra le due linee, è sede di un'illuminazione parziale, costituente appunto la penombra.

683. Velocità della luce. — Le onde luminose, contrariamente a quanto accade per quelle sonore, si propagano con una straordinaria velocità, valutabile approssimativamente a 298,000 di chilometri al secondo; da ciò si capisce che la luce, in un secondo, percorrerebbe circa sette volte e mezza il giro della terra. Una tale velocità sembra dovesse togliere qualunque speranza di misurarla con esperienze eseguite alla superfice della terra. Ciò nonostante vi si è riesciti. Anzi, il signor Focault installò persino il suo apparecchio in una camera di dimensioni ordinarie, dove il raggio luminoso non percorreva più di 20 metri. Il tempo impiegato a percorrere questa distanza è minore di $^1/_{10000000}$ di minuto secondo, e, ciò non pertanto, potè essere misurato con esattezza! Prima dell'esperienza del signor Focault, la velocità della luce era già stata misurata dal signor Fizeau, operando su di una lunghezza di qualche chilometro.

684. Velocità della luce dedotta dall' osservazione degli eclissi dei satelliti di Giove. — Fino all'epoca in cui venne eseguita l'esperienza del signor Fizeau,

non si era ancor riesciti a rendere sensibile la trasmissione successiva della luce, col mezzo di esperienze eseguite alla superfice della terra; il fatto però era noto, e lo si era dedotto da fenomeni astronomici, che poterono anche servire alla misurazione, abbastanza esatta, della velocità di questa trasmissione. Questa importante scoperta è dovuta all'astronomo Rœmer, che vi fu condotto dalla discussione delle ore alle quali si producono gli eclissi del primo satellite di Giove.

Per mezzo di diverse osservazioni combinate, si è potuto calcolare, con molta esattezza, l'intervallo medio di due eclissi. Pel primo satellite questo intervallo è di 42 ore e $^1/_2$ circa.

Ciò posto, si imagini che la Terra sia in T (fig. 633), Giove in T, vale a dire, che i due astri sieno in congiunzione; la distanza che li separa è allora la più piccola possibile. I due pianeti si muovono ambidue; la Terra però possiede una velocità molto maggiore di quella di Giove, così che, quando questo sarà giunto in J', la Terra sarà in T'', in opposizione; è questo il momento della maggior distanza degli astri fra loro. Durante questo periodo, la distanza fra i due pianeti va continuamente aumentando. Se, ciò posto, si osservano gli intervalli successivi degli eclissi, li si trovano sempre superiori a 42 ore e $^1/_2$, vale a dire, al valore medio. Partendo da questa opposizione, i due astri si vanno avvicinando, fino ad una nuova congiunzione, la quale si produce quando Giove è J'' e la Terra in T'''. Durante questo periodo, l'intervallo degli eclissi è invece sempre minore di 42 ore e $^1/_2$. Se si ammette che la luce non si trasmette istantaneamente, le precedenti particolarità son facili a giustificarsi; infatti, da un'immersione alla successiva, quando gli astri vanno avvicinandosi, deve trascorrere meno tempo di quando gli astri vanno fra loro allontanandosi; la differenza darà precisamente il tempo che la luce impiega a percorrere la differenza di distanza dei due astri, da una posizione all'altra. La somma delle differenze da una congiunzione ad un'opposizione, o da una opposizione ad una congiunzione, darà il tempo che la luce impiega a percorrere un intervallo, pressochè uguale alla differenza della distanza massima alla distanza minima dei due pianeti, vale a dire, al diametro dell'orbita terrestre.

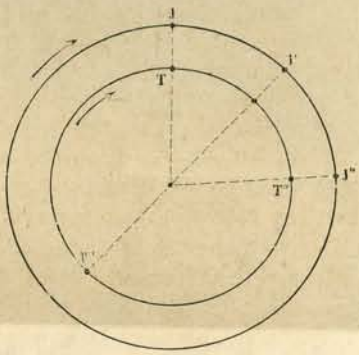


Fig. 633.

Rœmer calcolò con precisione il tempo impiegato dalla luce a percorrere il diametro dell'orbita terrestre e lo trovò di 16 minuti e 36 secondi; se ne deduce che la luce impiega, per giungere dal sole alla terra, 8 minuti e 18 secondi.

685. Esperienza di Fiseau. — Si supponga una sorgente luminosa, posta ad una certa distanza da uno specchio piano perpendicolare alla direzione della linea terminante al punto dove è collocato lo specchio stesso: i raggi luminosi, dopo di aver incontrato lo specchio, si riflettono normalmente a questo, e quindi ritornano alla sorgente luminosa. Un'osservatore, posto dietro a questa, riceverà dunque il raggio riflesso, e vedrà un punto luminoso, immagine della sorgente.

Si immagini ora che, dinanzi alla sorgente luminosa, si faccia girare, con moto uniforme, una ruota dentata; al momento in cui la rotazione conduce un dente dinanzi alla sorgente, la luce è intercettata; passa, invece, quando vi corrisponde l'intervallo fra due denti. Considerando questo secondo caso, si capisce come, se la velocità di rotazione della ruota è abbastanza grande, il raggio luminoso, al suo ritorno, possa precisamente incontrare un dente; l'occhio allora non scorgerà alcuna immagine. Se si conosce la velocità di rotazione della ruota ed il nu-

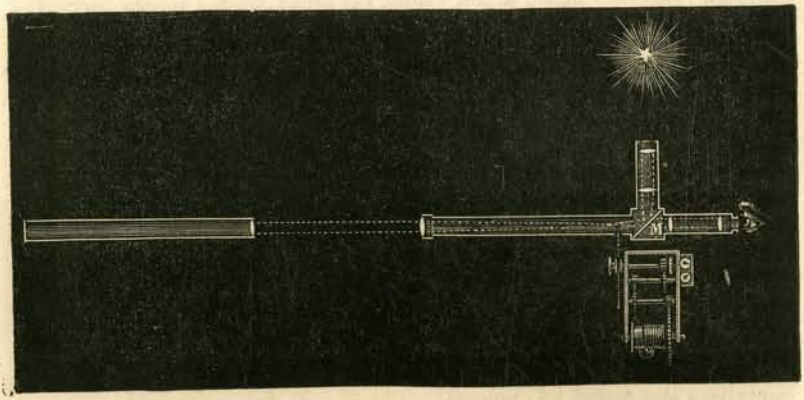


Fig. 634.

mero dei denti, si potrà dedurne il tempo impiegato dalla luce a percorrere il doppio della distanza che separa le due stazioni. Nel caso in cui la velocità della ruota non è quella che corrisponde alla scomparsa della luce (fig. 637), l'occhio, in causa della persistenza delle immagini sulla retina, scorge, in modo continuo, un punto luminoso (fig. 636), ma con un'intensità minore di quando il punto luminoso è visto direttamente attraverso i denti della ruota ferma (fig. 635). Se si

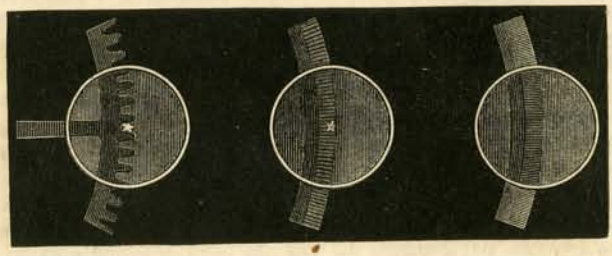


Fig. 635. Fig. 636. Fig. 637.

rende doppia la velocità della ruota, necessaria a produrre un'estinzione, i raggi luminosi, nel ritornare, incontreranno un vuoto, e si osserverà di nuovo l'immagine del punto luminoso; ad una velocità tripla corrisponderà una nuova estinzione, e così di seguito; ciò permette di eseguire una serie di determinazioni, che conducono approssitivamamente allo stesso risultato numerico.

La figura 654 dà idea delle disposizioni generali dell'apparecchio. La luce di una lampada vien dapprima concentrata con una lente, e va a cadere sopra uno specchio senza stagnola *M*, inclinato a 45°, il quale li riflette normalmente, in un corpo di cannocchiale; l'obbiettivo di questo, opportunamente disposto, li rende paralleli fra loro; attraversano così lo spazio compreso fra le due stazioni, cadono su di una seconda lente, che li concentra su di uno specchio, il quale li riflette; passano nuovamente nella lente, e ridivengono paralleli; ritornano al primo cannocchiale, attraversano la lastra *M*, e vengono, finalmente, ricevuti dall'occhio, che li osserva per mezzo di un oculare. La ruota *R* è posta in moto con un meccanismo da orologeria. L'esperienza del signor Fizeau ha, per la prima volta, resa sensibile la trasmissione progressiva della luce in una estensione ristretta, ed è celebre sotto questo punto di vista; però, essa si presta difficilmente ad una misura esatta della velocità di trasmissione della luce. Il metodo del signor Focault è, all'opposto, assai rigoroso.

686. Esperienza di Focault. — Il signor Focault fece ricorso al metodo dello specchio girante. Un fascio di luce entra in una camera oscura da una apertura quadrata, ed attraversa subito un reticolo di sottili fili di platino; concentrato poi da una lente acromatica, cade, prima della convergenza, su di uno specchio girevole. In una delle posizioni di questo, il fascio riflesso è diretto su di uno specchio sferico concavo, il di cui centro di curvatura coincide coll'asse di rotazione dello specchio mobile; il fascio ritorna dunque sullo specchio piano, e di là all'apertura. Onde poter osservare l'immagine prodotta da questo fascio, senza mascherare il fascio originario, si pone, sul fascio di ritorno, un vetro a faccie parallele, e si osserva, con un potente oculare, l'immagine rigettata di fianco. Lo specchio, girando, fa comparire questa immagine ad ogni rivoluzione; se la velocità di rotazione è uniforme ed abbastanza rapida, la persistenza della immagine sulla retina, mostra un'immagine continua, ed in una posizione fissa. Per ottenere tal risultato, basta che la velocità di rotazione sorpassi i 50 giri al secondo.

Se però la velocità di rotazione aumenta, siccome tra le due riflessioni sullo specchio mobile la luce ha percorso il doppio dello spazio che separa i due specchi, può darsi che, in questo frattempo, lo specchio girante abbia sensibilmente cambiato di posizione, ciò che si rivela con uno spostamento dell'immagine, formata dal fascio riflesso, al suo ritorno sul reticolo.

L'esperienza venne dal signor Focault eseguita nel 1850; in seguito perfezionò assai il metodo, specialmente in quanto concerne la velocità di rotazione dello specchio, la quale è, evidentemente, l'elemento numerico di maggior importanza nella quistione. Il signor Focault dà allo specchio, con un metodo assai ingegnoso, una velocità costante di 400 giri al secondo, velocità minore di quella adoperata nelle prime esperienze (da 7 a 800 giri al secondo), epperò, in compenso, porta la distanza da 4 a 20 metri. Gli è per mezzo di tali combinazioni che Focault potè misurare esattamente la velocità della luce, da lui trovata di 298,000 chilometri ai secondo.

687. Fotometria. — La fotometria ha per oggetto di misurare l'intensità luminosa delle diverse sorgenti; i processi a ciò impiegati sono tutti, dal più al meno, difettosi; l'occhio, infatti, non è abile ad apprezzare l'intensità della vibrazione luminosa, più di quanto l'orecchio sappia apprezzare quella della vibrazione sonora. La

difficoltà è pressochè assoluta, allorchè le luci da compararsi hanno colori differenti.

Quando le luci hanno pressochè la stessa tinta, si può approssimativamente stabilire il rapporto della loro intensità, fondandosi sulla legge delle variazioni in ragione inversa del quadrato delle distanze dalla sorgente luminosa. Questa legge è una conseguenza della teoria delle vibrazioni luminose, e la si ammette a *priori*, più che non venga sottoposta a dimostrazione sperimentale. Ciò non pertanto, si potrebbe constatare, approssimativamente, che una superfice data è *ugualmente illuminata*, tanto da una sorgente, come da quattro sorgenti a quella uguali, poste ad una distanza doppia della prima, dalla superfice. Comunque sia, gli è appunto su questa legge che sono fondati i diversi metodi fotometrici.

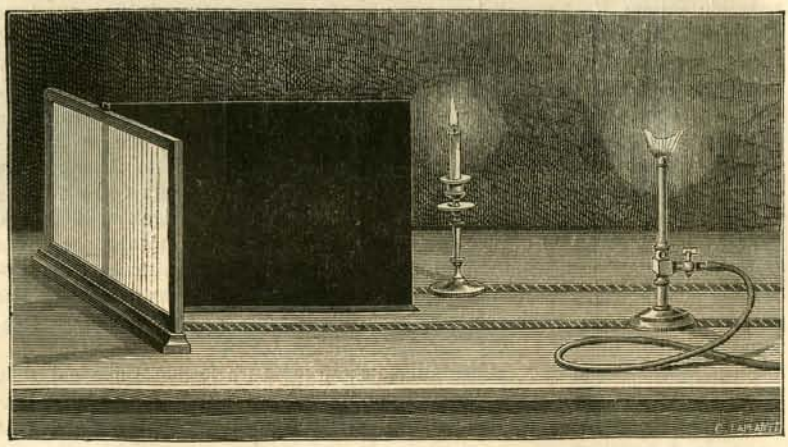


Fig. 638.

688. Fotometro di Bouger. — Una superfice bianca, un foglio di carta, per esempio, un vetro smerigliato, od una lamina sottile di porcellana, è divisa in due parti da uno schermo opaco (fig. 638), da una banda e dall'altra del quale, si pongono due sorgenti di luce. La disposizione deve essere tale, che ciascuna sorgente rischiari solamente una delle due parti della lamina translucida. L'osservatore posto, rispetto alla lamina, dalla parte opposta alle sorgenti, vede due superfici bianche, separate da una linea d'ombra, dovuta allo schermo. Si allontana la sorgente più intensa, finchè l'illuminazione delle due superfici sembri uguale. Se allora, per esempio, una delle sorgenti si trova a distanza doppia dell'altra, essa manda sullo schermo quattro volte meno luce, di quello che manderebbe, se ne fosse lontana quanto l'altra sorgente; siccome

però produce, in definitiva, un' illuminazione uguale a quella fornita da questa, vuol dire che la sua intensità luminosa è quadrupla.

689. Fotometro di Rumford — Il fotometro di Rumford è fondato sulla comparazione delle tinte di due ombre, portate da due sorgenti. Dinanzi alle due luci si dispone verticalmente un bastone cilindrico, la di cui ombra è projettata su di uno schermo translucido (fig. 639). Ciascuna delle ombre portate da una delle luci, è rischiarata dall'altra luce e, generalmente, la loro tinta appare diversa. Si allontana progressivamente la sorgente più intensa, finchè le ombre sembrino ugualmente nere. Se ne deve concludere

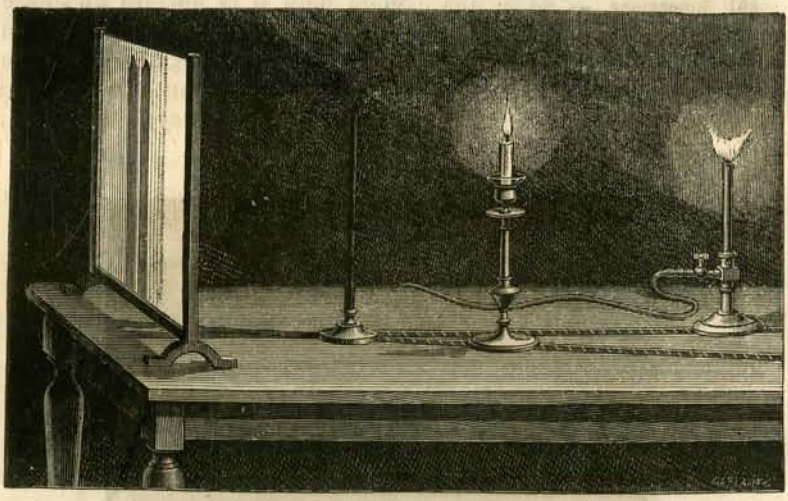


Fig. 639

che, in questa posizione, ciascun ombra riceve una stessa quantità di luce. Se dunque si trova che una delle sorgenti è, per esempio, ad una distanza doppia dell' altra, se ne dedurrà che la sua intensità luminosa ne è quadrupla.

690. Fotometro di Bunsen. — Il fotometro di Bunsen si compone di un foglio di carta, teso su di un telajo, e presentante nel suo centro una macchia, fatta con un corpo grasso. Se si pone il foglio tra l' occhio ed una sorgente di luce, la macchia appare translucida e bianca, su di un fondo poco illuminato; se, all'opposto, si pone la sorgente fra l'occhio ed il foglio, la macchia appare oscura, sopra un fondo bianco. Dietro ciò, si pongano, una da una banda, e l'altra dall'altra del foglio, due sorgenti di luce di differente intensità, per esempio, una candela ed un becco a gas; osservando il foglio dalla parte della candela, si vedrà il foglio rischiarato per diffusione e la macchia per trasmissione, e questa sarà più brillante, giacchè la fiamma a gas è più intensa. Ma, allontanando questa progres-

sivamente, verrà un momento in cui la carta sembrerà uniformemente rischiarata, e la macchia scomparirà quasi completamente; ciò indica che l'illuminazione prodotta dalle due sorgenti è la stessa. Basterà dunque misurare la loro distanza dal fotometro per poter dedurre il rapporto delle loro intensità.

CAPITOLO II.

RIFLESSIONE DELLA LUCE.

691. Riflessione. — Se in una camera nera si fa entrare un sottile fascio di luce solare *A B* (fig. 640), e lo si fa battere sopra una superfice piana, presentante un certo grado di levigatezza, si vede il fascio rialzarsi secondo la linea *B C*; gli è appunto in ciò che consiste il fenomeno della riflessione. *A B* dicesi *raggio incidente*, *BC raggio riflesso.*

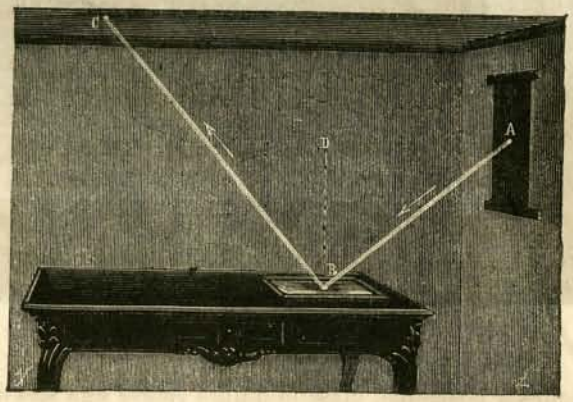


Fig. 640.

L'angolo *A B D*, formato dal raggio incidente colla normale alla superfice *B D*, si dice angolo di incidenza. L'angolo *C B D*, formato dal raggio riflesso colla stessa normale, dicesi angolo di riflessione. Dicesi piano di incidenza, il piano stabilito dal raggio incidente *A B*, e dalla normale *B D*.

692. Leggi della riflessione. — La riflessione della luce accade secondo le leggi seguenti:

1.° *La riflessione ha luogo nel piano di incidenza.*

2.° *L'angolo di riflessione è uguale all'angolo di incidenza.*

Si verificano sperimentalmente queste leggi nel modo seguente.

Si fa uso di un cerchio graduato verticale (fig. 641), al centro del quale è posta una piccola lamina levigata, resa perfettamente orizzontale per mezzo di una livelletta. Sul cerchio si possono far scorrere due corsoi, portanti due tubi, anneriti al loro interno, e muniti di traguardi, stabilenti una visuale esattamente diretta al centro del cerchio. Lo zero della gradazione del cerchio si trova all'estremità superiore del diametro verticale, e la graduazione stessa si estende simmetricamente, da una parte e dall'altra dello zero. I corsoi sono muniti di punti di riscontro in corrispondenza alle visuali dei tubi.

L'esperienza si eseguisce ponendo, innanzi all'estremo esterno di uno dei tubi, la fiamma di una candela, per esempio. Una parte della luce emanata da questa sorgente entra nel tubo, e forma un fascio, avente precisamente la direzione della visuale, giacchè i raggi che non hanno questa direzione sono arrestati, od estinti dalle pareti interne annerite del tubo.

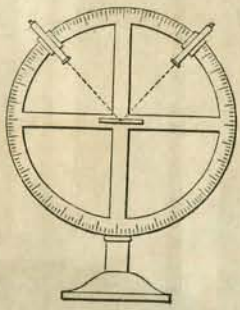


Fig. 641.

Facendo muovere il secondo corsojo, e ponendo l'occhio all'estremo del tubo corrispondente, si riesce sempre a trovare una posizione, che permette di vedere la luce della fiamma, riflessa dalla piccola superfice piana. Si trova allora che i due corsori son disposti alla medesima distanza za dallo zero, ciò che dimostra appunto l'uguaglianza degli angoli di riflessione e di incidenza. Di più, la riflessione si compie nel piano verticale del cerchio, il qual piano è appunto il piano di incidenza. Le due leggi della riflessione riescono così verificate.

693. Orizzonte artificiale. — Le leggi della riflessione della luce sono il fondamento di un metodo assai usato nella misurazione dell'altezza di un astro sull'orizzonte, metodo che può, riconosciutane l'esattezza, considerarsi come verifica delle leggi stesse.

Si fa perciò uso di un cerchio graduato (fig. 642), disposto, con opportuni metodi, in un piano verticale. Si dirige la visuale di un cannocchiale secondo la direzione $I'S'$, in modo da vedere una determinata stella; si dirige quindi lo stesso cannocchiale, od un altro, se l'istrumento ne porta due, secondo la direzione $I'R$, così da scorgere l'immagine della stella, ottenuta per riflessione sulla superfice di un bagno di mercurio. Ammessa l'esattezza delle leggi della riflessione della luce, l'altezza dell'astro sopra l'orizzonte è la metà della distanza angolare che separa i due cannocchiali.

Infatti, l'immagine della stella, vista per riflessione, è fornita dal-

la riflessione di un raggio luminoso IS, che si può ritenere parallelo a $I'S'$, in causa dell' immensa distanza della stella. I due angoli SIN e NIR sono uguali; lo stesso dicasi degli angoli $S'I'N'$, $N'I'R'$, i quali sono pure uguali ai primi, per le proprietà delle rette parallele. Se dunque si suppone in I' una retta orizzontale, perpendicolare a $I'N'$, essa divide in due parti uguali l'angolo $S'I'R$, e la metà superiore di questo angolo è appunto l'altezza dell'astro sopra dell'orizzonte.

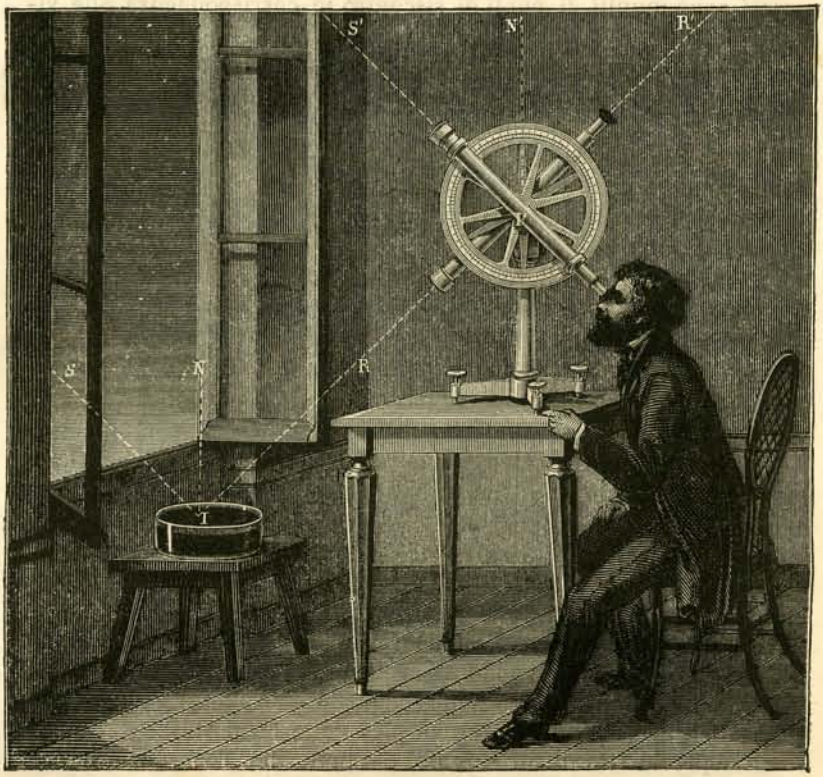


Fig. 612.

Questo processo per misurare l'altezza di un'astro, si usa spesso, sia negli osservatori, sia nelle stazioni geodetiche, e lo si designa col nome di *orizzonte artificiale*, od *orizzonte di mercurio*.

694. Riflessione irregolare. — La riflessione di cui ora si è parlato, porta il nome di riflessione regolare; essa è tanto più distinta, quanto più levigata è la superfice, e quanto più i raggi sono inclinati rispetto ad essa. Si distingue un altra spece di riflessione,

detta *diffusione*, per la quale, una superfice colpita da un fascio di luce, diventa la sede di fasci diretti in tutti i sensi nello spazio. Gli è appunto per questa diffusione che i corpi *rischiarati* riescono visibili, e possono venir considerati come corpi luminosi. Se non si avesse altro che luce riflessa regolarmente, non si vedrebbe più il corpo che riflette, ma bensì la sorgente che li illumina. Così, per esempio, un osservatore che si ponesse sul tragitto di un raggio solare riflesso, vedrebbe l'immagine abbagliante del sole e non vedrebbe lo specchio; se questo è reso visibile, lo si deve alla diffusione. Si aggiunga che, nell'atto stesso della diffusione, si stabilisce nel fascio una modificazione specifica, per la quale, i fasci provenienti dal corpo, possiedono un' intensità od un colore dipendente dal corpo stesso (1).

695. Specchi. — Si dà il nome di *specchio* a qualunque superfice levigata, capace di riflettere regolarmente la luce, e dar origine ad immagini di forme diverse. Gli antichi facevano esclusivamente uso di specchi in metallo, ordinariamente di bronzo, qualche volta però, in argento od anche in oro. L'uso degli specchi di vetro a stagnola risale al XII secolo. Son questi formati da lastre di vetro, o di cristallo, dietro le quali è applicata una amalgama di stagno, che costituisce la superfice riflettente; in tal modo, questa resta sottratta dal contatto dell'aria, e quindi dalle alterazioni che ne derivano; vantaggio questo assai notevole. Ciò non pertanto, l'amalgama e la superfice del vetro, costituiscono effettivamente due specchi, e danno quindi due immagini; inconveniente, intollerabile nelle esperienze d'ottica; perciò, in questi casi, si fa uso di specchi metallici. Il metallo con cui si fanno questi specchi, è una spece di bronzo, formato da 66 parti di rame e 33 di stagno. Vi si aggiunge, qualche volta, del piombo, dell'antimonio, ed anche dell'arsenico. Gli specchi in vetro argentato, ora molto usati, sono assai superiori ai precedenti. Si sono pure tentati, senza però molto successo, degli specchi in vetro platinato.

Gli effetti prodotti dagli specchi dipendono dalla loro forma. Noi tratteremo solo con qualche dettaglio gli specchi piani e gli sferici.

696. Specchio piano. — Lo specchio piano è una superfice piana riflettente; il suo effetto generale, e ben noto, è quello di dar origine, dietro lo specchio, ad un' immagine simigliante all' oggetto. Le leggi della riflessione della luce danno facilmente conto di questo fatto.

Sia, infatti, MN uno specchio piano, ed S un punto luminoso (fig. 643). Da questo punto partono dei raggi SI, SI', SI'', che si

(1) I due casi si possono anche distinguere dicendo che nel primo caso si ha riflessione *specolare*, nel secondo *diffusione*.

riflettono sullo specchio, e danno origine ai raggi riflessi IO, $I'O'$, $I''O''$. Dal punto S si tracci la perpendicolare SK allo specchio, e la si prolunghi al di là di questo. Si prolunghi pure il raggio riflesso IO; questo, essendo posto nel piano normale di incidenza SIN, andrà ad incontrarsi in un punto S' colla retta SK, che si trova nello stesso piano. Ciò posto, si scorge che i due triangoli rettangoli SKI, KIS' sono uguali, giacchè hanno il lato KI comune, i due angoli SIK, KIS' uguali, perchè complementari, il primo di SIN, il secondo di NIO, i quali sono uguali per la legge di riflessione. Dall' uguaglianza dei triangoli si deduce $KS' = KS$. Ma, ciò che è vero pel raggio IO, lo è anche per tutti gli altri; dunque, tutti i prolungamenti dei raggi riflessi, vanno ad incontrarsi nel punto S', simmetrico al punto S. Da ciò consegue che, se alcuni di questi raggi riflessi giungono all' occhio, questo ne verrà perfettamente impressionato in ugual modo, come se provenissero dal punto S'; si vedrà dunque in S' un punto luminoso, *immagine* del punto S.

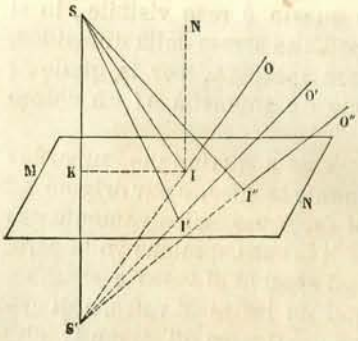


Fig. 643.

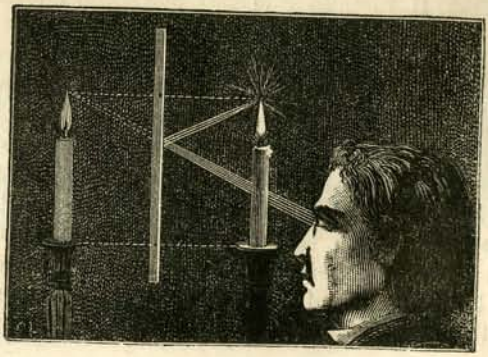


Fig. 644.

La figura 644 mostra un fascio di raggi luminosi, partenti da un punto della fiamma di una candela; il fascio divergente riflesso, entra nell' occhio; il punto d'incontro dei raggi che costituiscono questo fascio, è appunto l'immagine del punto considerato.

Quanto ora si è detto di un punto particolare, si applica evidentemente a ciascun punto di un oggetto. Se, per esempio, un oggetto AB (fig. 645), è posto innanzi ad uno specchio, l'occhio, posto in O, vedrà l'immagine del punto A in A', quella del punto B in B', e, quindi, l'immagine di AB sarà la linea $A'B'$, ad essa simmetrica.

Da ciò si capisce che l'immagine, vista in uno specchio piano, non è uguale all'oggetto, nel senso assoluto della parola; l'immagine è simmetrica all'oggetto, vale a dire, che i suoi diversi punti si trovano sulle perpendicolari tracciate allo specchio dai corrispondenti punti dell'oggetto stesso, ed appajono dietro allo specchio ad una distanza, uguale alla distanza dei punti stessi dallo specchio. Così, ciò che si trova a dritta nell'oggetto, è a sinistra nell'immagine, e viceversa; una persona, posta davanti ad uno specchio, e che muove il braccio destro, vede la sua immagine muovere il braccio sinistro; i caratteri da stampa vi si vedono inversi, come lo sono nella composizione di stampa, o come li si vedono per trasparenza, guardando a tergo del foglio, ecc.

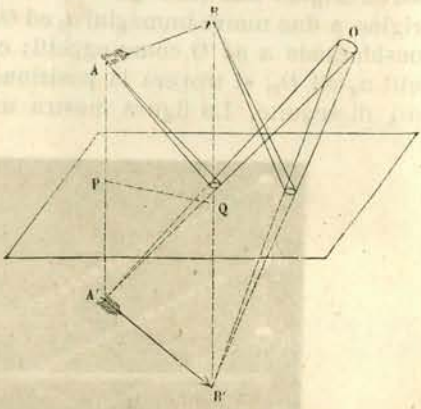


Fig. 645.

697. Specchi multipli. — Quando i raggi provenienti da un punto luminoso m, e già riflessi da uno specchio AB (fig. 646), vanno a riflettersi sopra un secondo specchio CD, danno origine, dietro a questo specchio, ad un'immagine m', simmetrica alla prima m; giacchè, questi raggi, hanno per punto di concorso la prima immagine, la quale fa l'ufficio di punto luminoso. La riflessione su di un terzo specchio, darebbe origine ad una terza immagine, simmetrica alla se-

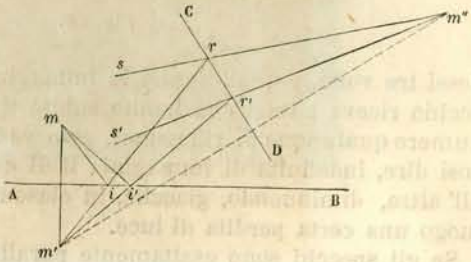


Fig. 646.

conda, e così di seguito. Si potranno dunque spiegare tutte le particolarità delle riflessioni multiple, considerando successivamente ciascuna immagine come un oggetto. Ecco quanto accade con due specchi paralleli, e con due specchi inclinati fra loro.

698. Specchi paralleli. — Si consideri un oggetto O, posto fra due specchi paralleli (fig. 647); una prima riflessione sopra ciascuno di essi dà origine alle immagini a_1 ed O_1; una seconda riflessione dà origine a due nuove immagini a_2 ed O_2, la di cui posizione si ottiene, considerando a ed O come oggetti; così pure, considerando per oggetti a_2 ed O_2, si troverà la posizione delle immagini a_3 ed O_3, e così di seguito. La figura mostra un' occhio ricevente i fasci ri-

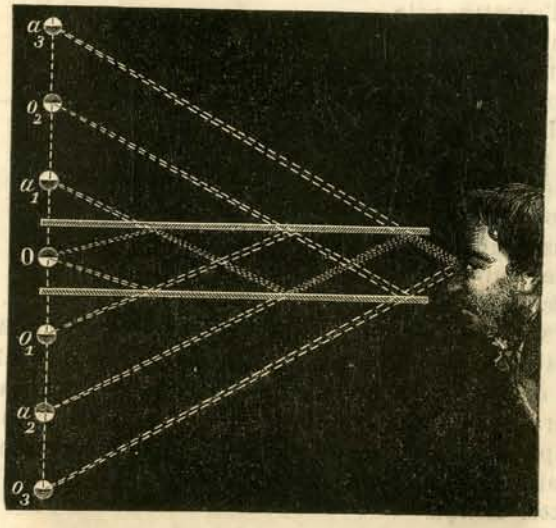


Fig. 617.

flessi tre volte, i quali danno le immagini a_3 ed O_3; ma lo stesso occhio riceve i fasci che hanno subito una, due, ed in generale, un numero qualunque di riflessioni, esso vedrà dunque una serie per così dire, indefinita di immagini, il di cui splendore va, dall' una all' altra, diminuendo, giacchè, in ciascuna riflessione ha sempre luogo una certa perdita di luce.

Se gli specchi sono esattamente paralleli, tutte queste immagini si trovano su di una direzione perpendicolare agli specchi stessi; se però gli specchi formano un piccolo angolo, la linea delle immagini gira di una quantità, tanto più sensibile, quanto più sensibile è l' angolo formato dagli specchi. Si fa spesso uso di questa osservazione, per disporre due specchi l'uno esattamente parallelo all'altro.

699. Specchi ad angolo retto. — Si consideri un punto luminoso m, posto fra due specchi ad angolo retto, $O\ A$ ed $O\ B$ (fig. 648). Per una prima riflessione, si formerà un'immagine m', dietro allo specchio $O\ A$, ed una m'', dietro $O\ B$. L'immagine m', considerata come oggetto, darà origine, nello specchio $O\ A$, ad una nuova immagine m'''; così pure accadrà dell'immagine formantesi dietro $O\ B$. Ma è chiaro che queste due immagini coincidono, e formano una sola immagine, posta nell'angolo diedro, opposto a quello che formano gli specchi. Questa immagine è collocata in modo da non poter fornire alcuna nuova immagine, giacchè i raggi che vi convergono, non incontrano più gli specchi; si avranno dunque, in tutto, tre immagini, quattro contandovi il punto luminoso. La figura 649

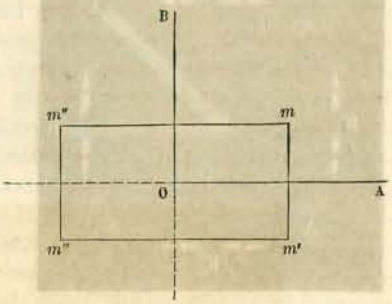


Fig. 648.

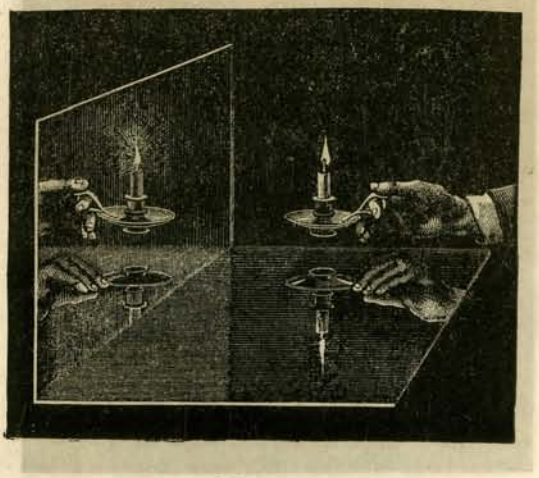


Fig. 649.

mostra, nella loro vera posizione relativa, le immagini di un'oggetto posto fra due specchi, uno orizzontale, l'altro verticale.

700. Specchi inclinati a 45.° — Questa conclusione, particolare al caso in cui l'angolo è misurato da $\frac{1}{4}$ di circonferenza, si ap-

plica anche al caso, più generale, in cui questo angolo è misurato da una parte aliquota qualunque della circonferenza. Se, per esempio, questo angolo è di 45°, vi saranno, contandovi l'oggetto, otto immagini, poste in circolo, e disposte ciascuna in uno dei settori di 45°, in cui la circonferenza può venir divisa. La figura 650 mostra chiaramente l'origine di queste immagini, e la causa che ne limita il numero (1).

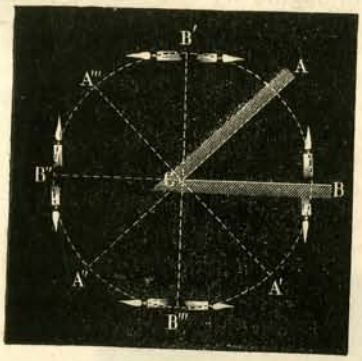


Fig. 650.

701. Caleidoscopio. — Le apparenze osservate negli specchi inclinati, servono di base ad un piccolo istrumento, la di cui invenzione sembra dovuta a Porta, ma che, però, venne migliorato da Brew-

Fig. 651.

(1) In generale sia N il numero delle immagini, n il numero di gradi che misurano l'angolo formato dai due specchi; si avrà $N = \frac{360}{n} - 1$, e contandovi l'oggetto: $N' = \frac{360}{n}$. Nel caso che gli specchi sieno paralleli, $n = 0$, e quindi $N = \infty$ (698)

NOTA DEL TRADUTTORE.

ster. Consiste questo istrumento in un tubo, nel quale son fissati due specchi inclinati fra loro, ordinariamente a 60°; una delle estremità del tubo è chiusa da una lamina, munita di un forellino, per applicarvi l'occhio; l'altra estremità è chiusa da due lamine di vetro, l'una all'interno, trasparente, l'altra all'esterno, smerigliata. Fra queste due lamine son posti degli oggetti minuti, in vetro colorato. L'immagine di questi oggetti, si ripete simmetricamente da una banda e dall'altra delle linee che dividono il campo di visione in sei settori. Se si fa girare il tubo sul suo asse, gli oggetti prendono disposizioni differenti. le quali si riproducono in ciascuna immagine; si possono così far variare i disegni all'infinito. Per mezzo di alcuni perfezionamenti, che permettono di aumentare e far variare gli effetti, il caleidoscopio può venir utilmente applicato a comporre disegni per tappezzerie.

Si potrebbe far uso di tre specchi invece che di due; si otterrebbe così la sovrapposizione degli effetti dovuti alla combinazione degli specchi due a due. La figura 652 rappresenta una delle disposizioni ottenute per mezzo di un caleidoscopio a tre specchi.

702. Specchi sferici. — Gli specchi sferici sono calotte sferiche,

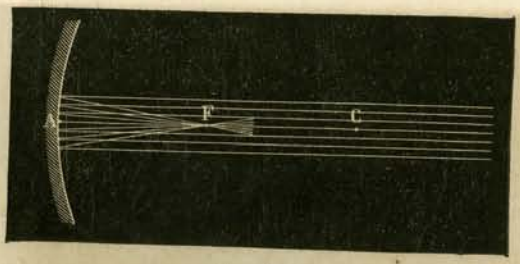


Fig. 652.

formate da una porzione, più o meno sensibile, ma sempre abbastanza piccola, della sfera totale. Se la riflessione ha luogo alla parte interna della calotta, lo specchio dicesi *concavo*; si dice *convesso* nel caso opposto, in cui la riflessione si compie alla superfice esterna.

Dicesi *asse principale* di uno specchio sferico, la retta passante pel centro *C* della sfera a cui appartiene lo specchio, e pel vertice *A* della calotta stessa; l'asse principale è perpendicolare al piano segante, che separa lo specchio dalla sfera (fig. 653) (1).

(1) Il centro della sfera a cui appartiene lo specchio, dicesi *centro di curvatura;* una retta indefiniva, passante pel centro di curvatura e per un punto qualunque dello specchio, dicesi *asse secondario;* il numero di gradi che misurano l'arco, comune sezione dello specchio sferico con un piano passante pel suo vertice, dicesi *apertura dello specchio;* ordinariamente, l'apertura degli specchi sferici non supera gli 8 o 10 gradi.

NOTA DEL TRADUTTORE.

Quando i raggi luminosi giungono parallelamente all'asse principale, dopo la riflessione concorrono in un punto F dell'asse stesso, detto *fuoco principale.*

Questo fatto, che puossi dimostrare col calcolo, può verificarsi sperimentalmente nel modo il più facile. Basta perciò di esporre uno specchio concavo ai raggi solari, inclinandolo in modo che i raggi incidenti sieno paralleli all' asse principale. Si constata allora che i raggi riflessi concorrono in un punto unico F, e che, questo punto, è il punto di mezzo della CA. Si dà alla distanza FA il nome di *distanza focale principale* dello specchio.

La distanza focale principale è dunque uguale alla metà del raggio dello specchio.

Questa proprietà, come verrà mostrato in seguito, non è che approssimativa; essa è rigorosa per gli specchi paraboloi, i quali sono formati da una porzione di paraboloide di rivoluzione vicina al suo vertice. Perciò, si son cercati processi opportuni ad ottenere specchi esattamente parabolici, destinati ai teloscopi. Si fa pure uso degli specchi parabolici come riflettori, destinati a rendere paralleli i raggi provenienti da una sorgente, posta al fuoco dello specchio; per questa applicazione però, si fanno specchi approssimativamente parabolici.

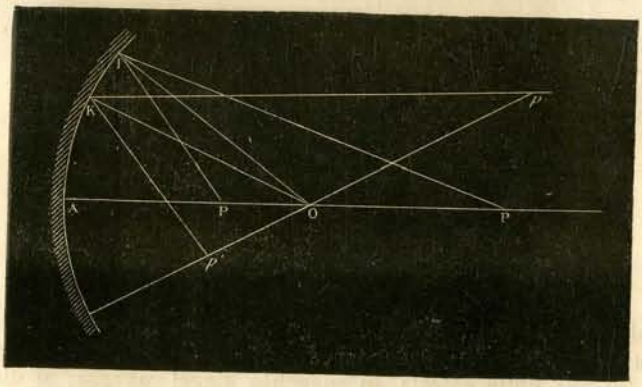


Fig. 653.

703. Fuochi conjugati. — Ritornando agli specchi sferici, si supponga che il punto luminoso P (fig. 354), sia posto sull' asse principale. Da questo punto partono dei raggi luminosi in tutte le direzioni, ed un fascio, limitato dall'apertura dello specchio, cade su questo. Si consideri in particolare il raggio PI; si tracci la normale OI, che non è altro che il raggio della sfera; l' angolo di incidenza è OIP; per ottenere il raggio riflesso, basta tracciare, dall' altra banda di OI e nel piano OIP, una retta IP', che faccia con IO un' angolo $P'IO$ uguale a PIO.

Il raggio riflesso incontra l' asse principale in un punto P'. Il

calcolo dimostra, che, quando l'apertura dello specchio è abbastanza piccola, la posizione del punto P' non dipende che dalla distanza AP. Si è dunque condotti alla seguente conclusione, veverificabile coll'esperienza: *Tutti i raggi luminosi partenti da un punto situato sull'asse principale, vanno, dopo la riflessione, ad incontrarsi in uno stesso punto dell'asse stesso* (fig. 655).

È evidente poi che, se i raggi luminosi partissero dal punto P', verrebbero ad incontrarsi in P; in causa di questa reciprocità, i punti P e P' diconsi *fuochi conjugati*.

Si è supposto che il punto P fosse posto sull'asse principale; lo stesso fatto si verifica anche per un punto p qualunque. Solamente, il fuoco conjugato si troverebbe, in questo caso, in p', sull'asse secondario passante pel punto p, intendendosi per asse secondario, qualunque retta passante pel centro di curvatura. Si può dunque

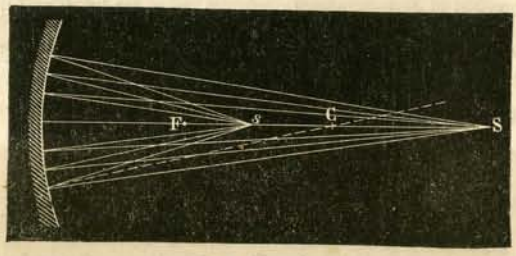


Fig. 654.

enunciare la seguente proprietà generale: *Quando i raggi partenti da un punto incontrano uno specchio sferico concavo, dopo la riflessione si incontrano in un punto, posto sull'asse secondario passante pel punto luminoso.*

Questa proprietà basta a convincere che, se un oggetto vien disposto dinanzi ad uno specchio concavo, l'occhio, opportunamente collocato, dovrà percepire un'immagine dell'oggetto stesso. Infatti, dai diversi punti dell'oggetto partono dei raggi luminosi, i quali, dopo la riflessione, vanno a concorrere al loro fuoco conjugato. Se dunque l'occhio è posto oltre la posizione dove accade questo concorso, i raggi produrranno in lui la stessa sensazione, come se giungessero dai diversi fuochi conjugati: l'assieme di questi fuochi conjugati produrrà l'effetto di un oggetto; è questa l'*immagine* dell'oggetto stesso.

Nel triangolo $PP'I$ la IO è bissettrice dell'angolo I; si ha dunque, per una nota proprietà di geometria:

$$\frac{IP}{IP'} = \frac{PO}{P'O}.$$

Sia p la distanza AP del punto luminoso dal vertice dello specchio, p' la di-

stanza AP', r il raggio di curvatura dello specchio. Si osservi poi che, se l'apertura dello specchio è assai piccola, si potrà ritenere sensibilmente $IP = AP$; $IP' = AP'$. L'equazione precedente può dunque scriversi:

$$\frac{p}{p'} = \frac{p-r}{r-p'}, \text{ da cui, } pr + p'r = 2pp':$$

e quindi, dividendo i termini per $pp'r$:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{2}{r}. \qquad (a)$$

Questa formola fa conoscere la posizione del punto P', dove il raggio riflesso incontra l'asse principale.

704. Fuoco principale. — Se nella formola (a) si suppone che la distanza p diventi sempre più grande, $\frac{1}{p}$ decresce indefinitamente, e diventa nullo per un valore infinito di p: è questo il caso di un raggio che giunga parallelamente all'asse principale; p' è allora il fuoco principale.

Dalla relazione (a) si deduce allora: $\frac{1}{p'} = \frac{2}{r}$, da cui, $p' = \frac{r}{2}$. *La distanza focale principale è dunque uguale alla metà del raggio di curvatura dello specchio.* Come già si era stabilito coll'esperienza (701).

Se f è la distanza focale principale, e questo valore lo si sostituisce al $\frac{r}{2}$ nella (a), si ottiene:

$$(b) \qquad \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f},$$

relazione più generalmente usata.

705. Posizioni relative dei due fuochi conjugati. — Quando la sorgente luminosa è infinitamente lontana dallo specchio, i raggi incidenti si possono considerare come paralleli; se si dispone l'asse principale parallelo a questi raggi, il fuoco conjugato della sorgente si trova pressochè coincidente col fuoco principale.

Se si diminuisce la distanza della sorgente dallo specchio, i due fuochi si vengono incontro, e si avvicinano simultaneamente al centro di curvatura, ove giungono nello stesso tempo. Però, per uno spostamento notevole del punto luminoso, il fuoco non subisce che un piccolo spostamento. Gli è del resto evidente a *priori* che, se i raggi luminosi partono dal centro, essi riescono normali alla superfice dello specchio e ritornano quindi al centro di curvatura.

Se il punto luminoso oltrepassa il centro di curvatura e va avvicinandosi al fuocoprincipale, il suo fuoco conjugato si va allontanando dal centro; quando il punto luminoso coincide col fuoco principale, i raggi riflessi riescono paralleli all'asse principale.

Si supponga, finalmente, che il punto luminoso, continuando ad inoltrarsi, venga ad occupare una posizione tra il fuoco principale e lo specchio. In questo caso i raggi riflessi non si possono incontrare dinanzi allo specchio; i loro prolungamenti geometrici vanno ad incontrarsi dietro lo specchio, ad una distanza che si può otte-

nere, tanto col calcolo, che coll'esperienza. È quanto mostra la figura 655; S è la posizione del punto luminoso, s è il suo fuoco conjugato. In questo caso si dice che il fuoco è *virtuale*. Il fuoco è *reale*, quando risulta dal concorso di raggi luminosi.

706. Discussione della formola dello specchio concavo. — La discussione della formola (b) permette di rendersi ragione delle posizioni dei fuochi conjugati. Se, infatti, p è assai grande, p' dev'essere poco diverso da f, dunque il fuoco conjugato è vicinissimo al fuoco principale. Man mano che p diminuisce, p' aumenta, vale a dire, che i due fuochi si vengono incontro l'uno all'altro, e si av-

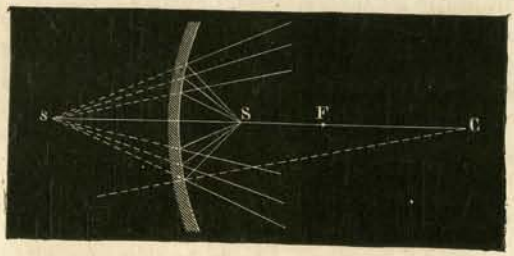


Fig. 655.

vicinano simultaneamente al centro; quando $p = 2f$, p' è pure uguale a $2f$: cioè, se uno dei fuochi è al centro di curvatura, l'altro vi si trova pure. Se il punto luminoso oltrepassa il centro, e si avvicina al fuoco principale, il suo fuoco conjugato si va allontanando dal centro di curvatura; quando il punto luminoso coincide col fuoco principale, p' diventa infinito, vale a dire, i raggi riflessi divengono paralleli all'asse principale.

Si consideri ora il caso in cui il punto luminoso occupi una posizione fra il fuoco principale e lo specchio. In questo caso, p essendo minore di f, $\frac{1}{p}$ è maggiore di $\frac{1}{f}$; dunque $\frac{1}{p'}$, è negativo, e quindi p' è pure negativo. Ciò

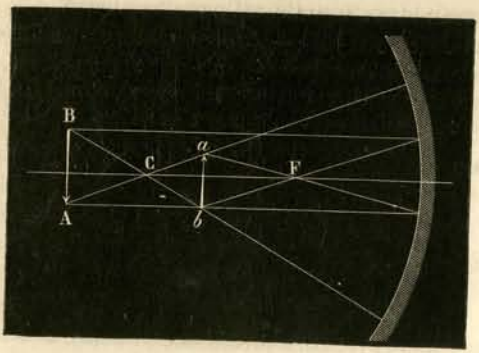


Fig. 656.

indica appunto che i raggi non si incontrano dinanzi allo specchio, bensì si incontrano dietro allo specchio i loro prolungamenti geometrici, ad una distanza uguale al valore assoluto di p'.

707. Formazione delle immagini. — Le spiegazioni precedenti bastano all'intelligenza di tutte le particolarità relative alla formazione delle immagini. Si consideri, per esempio (fig. 656), un oggetto AB, posto dinanzi ad uno specchio concavo, ed oltre il suo centro di curvatura. Dal punto A partono dei raggi luminosi, i quali, dopo la riflessione, vanno a convergere in un fuoco conjugato a, del quale è facile di determinar la posizione. Basta, infatti, tracciare dal punto A il raggio parallelo all'asse principale, raggio che, dopo la riflessione, passa pel fuoco principale; la sua intersezione coll'asse secondario AC, evidentemente è il punto cercato.

Con una costruzione analoga si ottiene il fuoco conjugato b, del punto B. I punti compresi fra A e B hanno, evidentemente, i loro fuochi conjugati compresi fra a e b. Un occhio posto oltre ab, riceverà i raggi provenienti dai diversi punti di ab, e scorgerà, per conseguenza, un'immagine rovesciata ab dell'oggetto AB. Gli è evidente che, se l'oggetto fosse ab, la sua immagine sarebbe AB, per un occhio posto oltre questa linea.

La posizione e la grandezza dell'immagine dipendono, evidentemente, dalla grandezza dell'oggetto, e dalla sua distanza dallo specchio. Il calcolo, una costruzione grafica, od anche l'esperienza, permettono di formulare la seguente proposizione: *Quando un oggetto è posto dinanzi ad uno specchio sferico concavo, un occhio, opportunamente collocato dinanzi allo specchio, vedrà un'immagine rovesciata di questo oggetto; questa immagine sarà più piccola dell'oggetto, se questo si trova ad una distanza dallo specchio, maggiore di quella del centro di curvatura; più grande dell'oggetto, se questo è posto fra il centro di curvatura ed il fuoco principale.*

Se l'oggetto fosse posto verso il centro, l'immagine riescirebbe pressochè di grandezza uguale all'oggetto stesso.

708. Grandezza delle immagini. — La figura 656 permette di calcolare il rapporto tra la grandezza dell'immagine e quella dell'oggetto. Infatti, i due triangoli ABC ed abC essendo simili, si ricava che il rapporto tra AB ed ab, è uguale al rapporto delle distanze rispettive di queste due linee dal centro di curvatura, rapporto espresso da $\frac{p-2f}{2f-p'}$; si ha dunque la relazione:

$$\frac{AB}{ab}=\frac{p-2f}{2f-p'}.$$

Ma, dalla formola fondamentale, si cava:

$$p'=\frac{f}{p-f},$$

valore che, sostituito nella relazione precedente, fornisce:

$$\frac{AB}{ab}=\frac{p-f}{f}.$$

Questa relazione mostra chiaramente che, se p è maggiore di $2f$, vale a dire, se l'oggetto dista dallo specchio più del centro di curvatura, il secondo membro è maggiore dell'unità, e quindi l'immagine è più piccola dell'oggetto. Si avrebbe il risultato opposto, se l'oggetto fosse collocato fra il centro di curvatura ed il fuoco principale. Se $p = 2f$, cioè se l'oggetto è al centro di curvatura, il secondo membro si riduce all'unità, vale a dire che l'immagine ha la medesima grandezza dell'oggetto.

709. Immagini ottenute per projezione. — La visione diretta delle immagini formate dallo specchio sferico, esige che l'occhio si trovi in una opportuna posizione; bisogna, infatti, che esso riceva i raggi riflessi, dopo il loro incrociamento al fuoco conjugato. Si possono

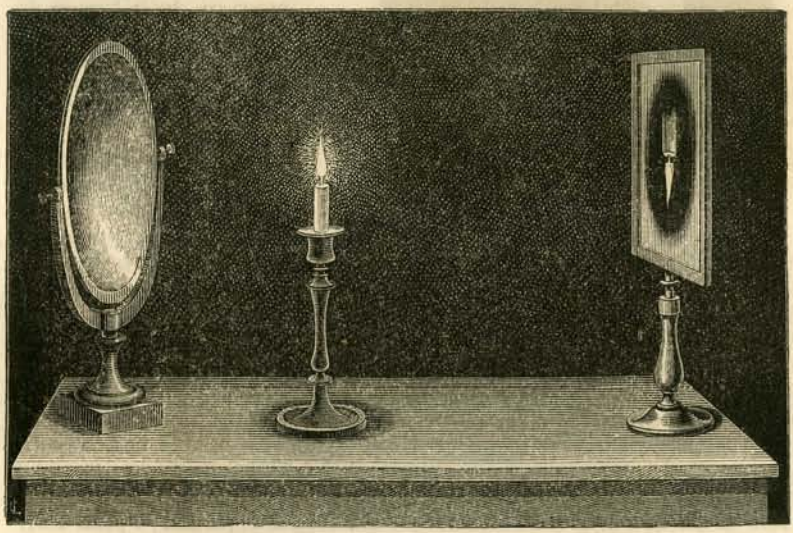


Fig. 657.

ottenere le immagini anche con un altro metodo, il quale permette di renderle visibili ad un gran numero di persone ad una volta. Si opera, per esempio, in una camera oscura, e si pone una candela accesa innanzi ad uno specchio concavo. Si dispone uno schermo nel luogo dove deve formarsi l'immagine, e si vede disegnarsi su di esso un'immagine rovesciata della candela, presentante, coll'oggetto stesso, le relazioni di grandezza e di posizione, di cui si è precedentemente parlato. La figura 657 corrisponde al caso in cui, essendo l'oggetto posto tra il centro di curvatura ed il fuoco principale, l'immagine riesce più grande dell'oggetto stesso, al di là del centro, e rovesciata.

Con questo metodo di esperimentare, si possono verificare rigorosamente le conseguenze della formola dei fuochi conjugati, giac-

chè, la posizione dello schermo, corrispondente alla maggior nettezza dell'immagine, è assai precisa, specialmente quando si opera a distanze non troppo grandi. Per poco che si sposti lo schermo da tale posizione, l'immagine si offusca immediatamente.

710. Caustica di riflessione. — Fra le immagini vedute direttamente e le immagini viste per projezione, passa una differenza fondamentale. Le prime cambiano un po' secondo la posizione dell' osservatore, mentre le altre hanno una posizione invariabile e rigorosamente definita. Per rendersi conto di tale differenza, basta osservare che la formola degli specchi non è che approssimativa. Rigorosamente parlando, i raggi riflessi provenienti da un dato punto dell' oggetto, non vengono a concorrere in uno stesso punto; colle loro successive intersezioni formano una superfice particolare, alla quale i geometri han dato il nome di *caustica*, in tutti i punti della quale la luce è più concentrata che altrove. Si può rendere sensibile l'esistenza della superfice caustica, facendo arrivare i raggi solari su di una lamina di metallo lucido, ripiegata su sè stessa ad arco di circonferenza: (fig. 658) si vede, in tal caso, disegnarsi sul piano sul quale la lamina si appoggia, una curva presentante una spece di vertice acuto; questa curva è l' intersezione della superfice caustica col piano.

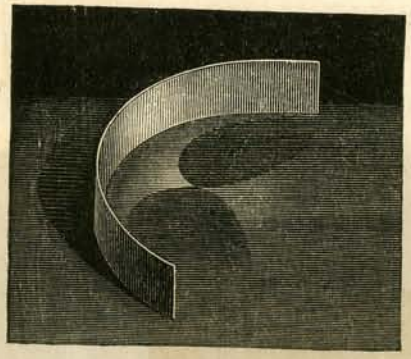


Fig. 658.

La forma della superfice caustica dipende, naturalmente, da quella della superfice riflettente. Nel caso degli specchi sferici, la superfice caustica ha la forma di una spece di imbuto curvo, la di cui apertura è rivolta verso lo specchio, ed il di cui vertice si trova precisamente al fuoco. Se dunque, operando con un oggetto luminoso, si pone uno schermo in una posizione opportuna, i punti corrispondenti ai fuochi conjugati riceveranno una quantità di luce assai maggiore che non nelle altre parti; il loro assieme disegnerà un'immagine dell'oggetto, la posizione e grandezza della quale sono rigorosamente quelle date dalle formole dei fuochi; queste immagini si potranno naturalmente vedere da un punto qualunque dello spazio ambiente.

Se invece si tratta di un' immagine vista direttamente, la posizione di questa immagine è determinata dal punto di concorso dei raggi che entrano effettivamente nella pupilla; questo punto di concorso è un punto della superfice caustica; ma non è lo stesso per le diverse posizioni dell'occhio.

Nei telescopi, sebbene la superfice caustica sia di estensione piccolissima, in causa dell'angolo sempre piccolo formato dai raggi luminosi, pure è bene di tener conto dell'errore commesso; questo errore costituisce ciò che dicesi *abberazione di sfericità*, ed è facile di calcolarne esattamente il valore, quando si conosca l'apertura dello specchio.

711. Immagine virtuale dello specchio concavo. — Si consideri un oggetto (fig. 659), posto dinanzi ad uno specchio concavo, tra il fuoco

principale e lo specchio. I raggi luminosi partiti dal punto *A*, formano, dopo la riflessione, un fascio divergente, il di cui punto di concorso è in *b*. Per determinare questo punto, basta tracciare dal punto *A* un raggio parallelo all'asse principale; il raggio riflesso passa pel fuoco principale *F*, ed il suo prolungamento va ad incontrare l'asse secondario, precisamente nel punto *b*. Si determina, allo stesso modo, il punto *a*, fuoco conjugato del punto *B*. I punti intermediari hanno i loro fuochi situati fra *a* e *b*; l'occhio, posto innanzi allo specchio, riceverà dunque dei raggi, i di cui punti di concorso sono i differenti punti della *a b*, e vedrà, per conseguenza, un'immagine diretta e più grande dell'oggetto. Si può calcolare la grandezza dell'immagine col metodo sopra indicato. Gli è appunto in causa di tale ingrandimento che si fa, qualche volta, uso di uno specchio leggermente concavo, come specchio da barba.

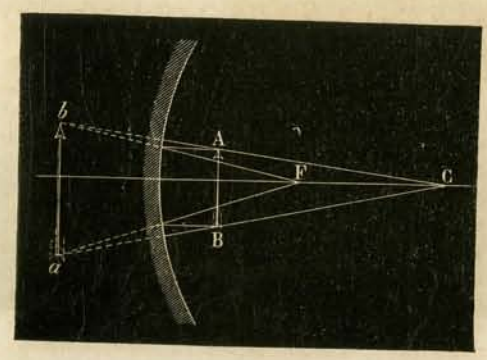


Fig. 659.

712. Osservazione sulle immagini virtuali. — Le immagini virtuali non possono osservarsi per projezione, giacchè, infatto, i raggi non si incontrano; esse non possono esser viste che direttamente. Son poi necessariamente diritte, infatti i raggi non si sono incrociati prima di giungere all'occhio.

Le immagini dello specchio piano sono vere immagini virtuali, e si possono pure far dipendere dalla teoria degli specchi sferici, giacchè, un piano, si può considerare come una porzione di superfice sferica, di raggio infinito.

La formola dello specchio curvo diventa, in questo caso, $\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = 0$; dalla quale, $p = -p'$. Il fuoco conjugato è dunque posto dietro lo specchio, e distante da questo quanto lo è l'oggetto. Dall'eguaglianza di p e p', risulta l'eguaglianza di grandezza dell'immagine e dell'oggetto. In questo caso particolare poi, la formola è rigorosa, giacchè lo specchio piano, essendo teoricamente di

grandezza infinita, quello di cui si fa uso non ne è che una porzione sempre infinitamente piccola.

713. Specchio convesso. — Con una semplice costruzione è facile di vedere come negli specchi convessi, i raggi luminosi, dopo la riflessione, formino sempre un fascio divergente; il fuoco principale ed i fuochi conjugati son dunque sempre virtuali.

La formola che dà la relazione tra le distanze focali si applica anche agli specchi convessi; basta perciò cambiare di segno al raggio. Per tal modo essa diventa:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=-\frac{1}{f},$$

si scorge che p' sarà sempre negativo, e che quindi l'immagine riescirà sempre virtuale.

La posizione di queste immagini si ottiene collo stesso modo usato per le immagini degli specchi concavi. Si consideri un oggetto

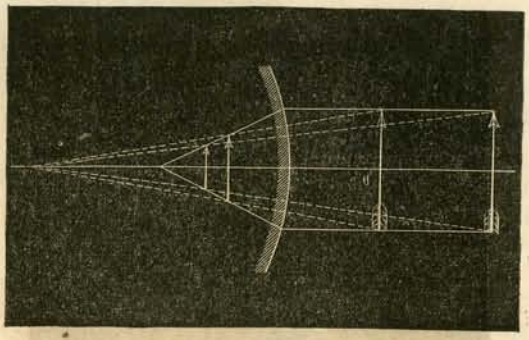


Fig. 660.

posto dinanzi ad uno specchio concavo (fig. 660). Dall' estremità superiore dell'oggetto si tracci un raggio parallelo all'asse principale; il raggio riflesso, prolungato, passa pel fuoco principale, e la sua intersezione coll'asse secondario corrispondente determina il fuoco conjugato. Si ottiene allo stesso modo il fuoco conjugato dell'altra estremità dell'oggetto e, come si scorge, di conseguenza l'occhio vedrà un'immagine diritta e più piccola dell' oggetto. Ripetendo la medesima costruzione per lo stesso oggetto disposto in una posizione più vicina allo specchio, si trova che l' immagine riesce più grande; ma però, sempre più piccola dell'oggetto.

Non si utilizzò lo specchio concavo che in un telescopio, quasi dimenticato oggigiorno, che porta il nome di Cassegrain, sebbene che la disposizione ne fosse stata indicata da Newton.

I globi argentati che si vedono spesso nei giardini, sono veri specchi convessi, nei quali si riflette, impiccolito, il paesaggio circostante. La curvatura essendo, in questo caso, assai forte, la de-

formazione delle immagini riesce assai significante, tanto che esse assumono, in modo assai sensibile, una certa quale impronta di sfericità.

714. Anamorfosi. — Questa deformazione delle immagini è specialmente notevole negli specchi cilindrici o conici. Se si tratta di uno specchio cilindrico convesso, il di cui asse sia verticale, i raggi riflessi secondo le generatrici, seguono lo stesso andamento come in uno specchio piano, quelli riflessi secondo una linea perpendicolare alle generatrici, seguono la legge degli specchi sferici.

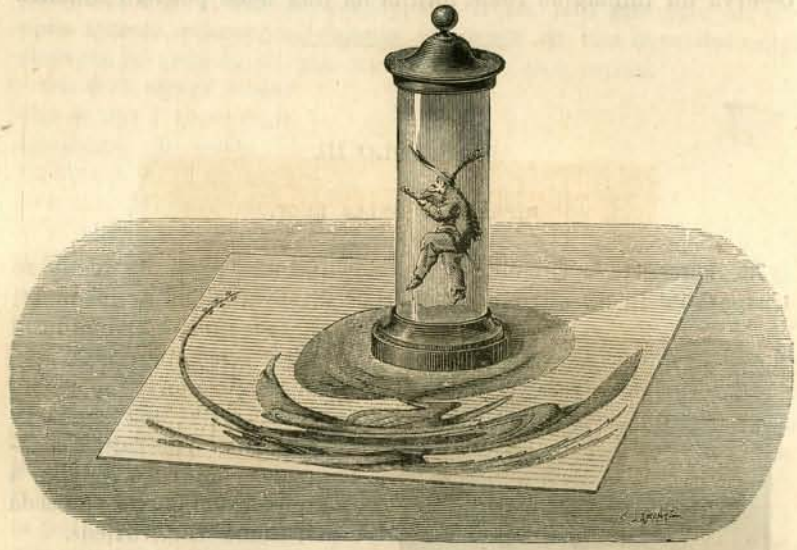


Fig. 661.

Ponendosi assai vicini ad un tale specchio, si vedrà un'immagine virtuale le di cui dimensioni sono disegualmente modificate nelle diverse regioni dell'immagine; ciò dà origine ad effetti assai singolari.

Si possono disegnare su cartoni delle figure che, apparentemente, non rappresentano nulla di determinato, le quali, viste in uno specchio cilindrico, o conico, opportunamente disposto, danno luogo ad immagini regolari. Questi giuochi d'ottica portano il nome di *anamorfosi* (fig. 661).

715. Di alcune applicazioni degli specchi sferici. — Gli specchi sferici si applicano all'illuminazione di certi oggetti, che un'osservatore, posto dietro lo specchio, può esaminare per mezzo di un' apertura praticata nello specchio stesso. Gli è su questo principio che sono fondati istrumenti che, da qualche tempo, rendono degli importanti

servigi alla fisiologia; tali sono l'*oftalmoscopio*, il *laringoscopio*, l'*endoscopio*, ecc.

Diamo, come esempio, un'idea dell'oftalmoscopio. È desso formato da uno specchio concavo, forato; l'osservatore lo pone innanzi ad uno de'suoi occhi, colla faccia riflettente rivolta verso l'occhio da osservarsi, e diretto in modo che il fascio di luce riflessa penetri nella pupilla.

La retina riesce così fortemente rischiarata, e si può osservarne tutti i dettagli. Spesso, invece di osservare l'interno dell'occhio, si osserva un' immagine reale, fornita da una lente postagli innanzi.

CAPITOLO III.

RIFRAZIONE DELLA LUCE.

716. Rifrazione. — Quando un raggio luminoso passa da un mezzo trasparente in un altro, alla superfice di separazione di due mezzi accade un cambiamento di direzione del raggio stesso. Il raggio non segue più la linea retta, ma devia in un senso o nell'altro, a seconda del caso. Gli è a questo fenomeno che si dà il nome di *rifrazione*.

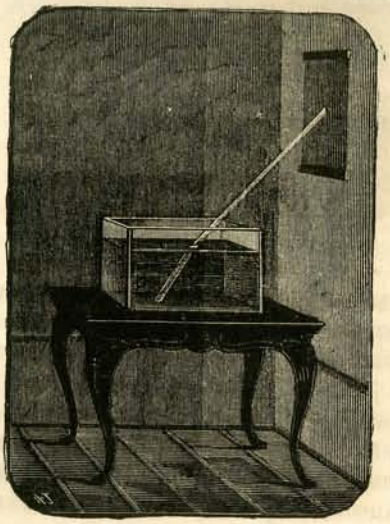


Fig. 662.

Si rende sensibile questo fenomeno facendo entrare un fascio di luce solare in una camera oscura (fig. 662), e ricevendolo alla superfice di una massa d'aqua, contenuta in una vasca di vetro. Si vede allora che, all'incontro della superfice del liquido, il fascio cambia di direzione, e si può seguire il suo andamento nel liquido stesso, in causa del rischiararsi delle particelle che si trovano sospese sul suo cammino.

Un'esperienza molto semplice, e molto nota, pone in evidenza il fenomeno della rifrazione. In fondo ad un vaso a pareti opache

(fig. 663) si pone una moneta $m\,n$, e se poi si va a porsi in posizione tale, che una linea partente da m e tangente al lembo A, giunga all'occhio. Questa posizione è il limite di quelle che permettono di vedere la moneta. Se allora si versa dell'aqua nel vaso fino in PP', prendendo le precauzioni opportune perchè la moneta non cambi di posto, l'occhio la scorge assai distintamente in m'. Se ne deve dunque concludere che un fascio di raggi luminosi, aventi per vertice m', penetri nell'occhio. Ma questi raggi però, sono partiti dal punto m, essi hanno dunque necessariamente dovuto provare nei punti I ed I' una deviazione, che li ha fatti giungere all'occhio. Questo, riferendo l'oggetto al punto di concorso dei raggi ricevuti, lo vede in m', più alto di quanto lo è infatti.

Gli è la stessa causa che spiega l'elevazione apparente del fondo di un fiume, o di un lago limpido. Si deve pure alla rifrazione l'apparenza, tanto conosciuta, di un bastone che, immerso nell'aqua, (fig. 664) sembra spezzato alla superfice del liquido, in modo che le due porzioni, esterna ed interna, non sono più sul prolungamento l'una dell'altra. Infatti, l'estremità inferiore sembra rialzata, come la moneta della precedente esperienza, mentre il punto che si trova alla superfice, non prova alcun spostamento; la porzione immersa appare dunque, all'occhio, in una direzione diversa della effettiva.

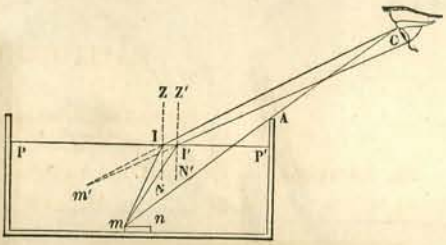


Fig. 663.

717. Mezzi più o meno rifrangenti. — Nella esperienza della moneta, i raggi luminosi, rifrangendosi ai punti I ed I', si allontanano dalle normali $Z\,N$ e $Z'\,N'$. Nella prima esperienza da noi descritta, il fascio luminoso, passando dall'aria nell'aqua, si avvicina invece alla normale. Quando un raggio nel passare da un mezzo ad un altro si avvicina alla normale, si dice che il secondo mezzo è *più rinfrangente* del primo; si dice invece *meno rinfrangente*, quando il raggio luminoso si allontana dalla normale. Sebbene il fatto non sia senza eccezioni, pure, si può dire che la rifrangenza e la densità sono correlative, cosicchè, in generale, un mezzo più denso di un altro è anche di esso più rifrangente, e viceversa.

718. Leggi della rifrazione. — La legge della rifrazione della luce non venne scoperta che ad un epoca relativamente recente. Snellius, fisico olandese, e Descartes ne hanno dato ciascuno, in seguito a lavori indipendenti gli uni dagli altri, un enunciato particolare. Ciò

non pertanto, la formola più semplice di Descartes essendo rimasta nella scienza, alle leggi della rifrazione si dà più spesso il nome di *leggi di Descartes*. Ecco in cosa consistono queste leggi.

Si consideri un raggio luminoso $R\,I$ (fig. 665) incidente in S alla superfice di separazione di due mezzi; l'angolo che fa questo raggio colla normale al punto I, dicesi *angolo di incidenza*, ed il suo piano è il piano stesso dell'incidenza. Ciò posto, ecco la prima legge della rifrazione:

La rifrazione accade nel piano di incidenza.

Il raggio luminoso rifratto $I\,S$, nel caso della figura, si avvicina alla normale; ciò indica che il secondo mezzo è più rinfrangente del primo, ma però il raggio stesso non esce dal piano di incidenza.

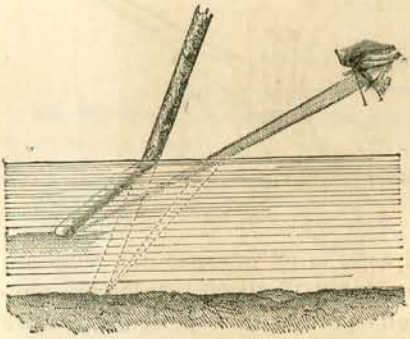


Fig. 664.

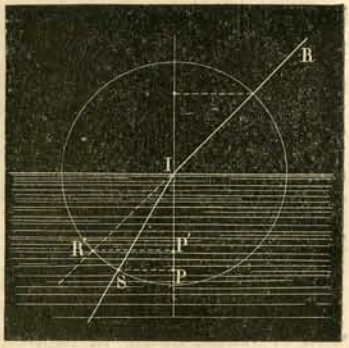


Fig. 665.

Il valore dell'*angolo di rifrazione* $S\,I\,P$ non è legato a quello dell'angolo di incidenza da una relazione facile da scoprirsi, ciò che spiega come, ad onta delle numerose ricerche, la legge della rirazione è rimasta per tanto tempo ignorata.

Epperò non facciamo alcuna comparazione diretta fra gli angoli di incidenza e di rifrazione. Descriviamo dal punto I come centro, una circonferenza che tagli il raggio rifratto in S, ed il prolungamento del raggio incidente in R'; tracciamo dai punti S ed R' le perpendicolari $S\,P$ ed $R'\,P'$ alla normale corrispondente al punto di incidenza I. Si può allora riscontrare che, qualunque sia l'angolo di incidenza, il rapporto delle lunghezze di queste due perpendicolari è costante. Queste perpendicolari sono dette dai geometri, i seni dei corrispondenti angoli. Si può dunque enunciare come segue la seconda legge della rifrazione:

Il seno dell' angolo di incidenza ed il seno dell' angolo di rifrazione sono, a parità dei due mezzi, in un rapporto costante.

719. Verificazione delle leggi di Descartes. — Si possono verificare le leggi della rifrazione coll'apparecchio rappresentato dalla figura 666, apparecchio assai somigliante a quello di cui faceva uso Descartes stesso. È formato da un cerchio graduato verticale, sul quale è disposto un vaso di vetro, avente la forma di un mezzo cilindro, contenente dell'aqua, o qualunque altro liquido trasparente.

La superfice libera del liquido passa esattamente pel centro del cerchio. Si fa giungere un raggio solare sul piccolo specchio *I*, e

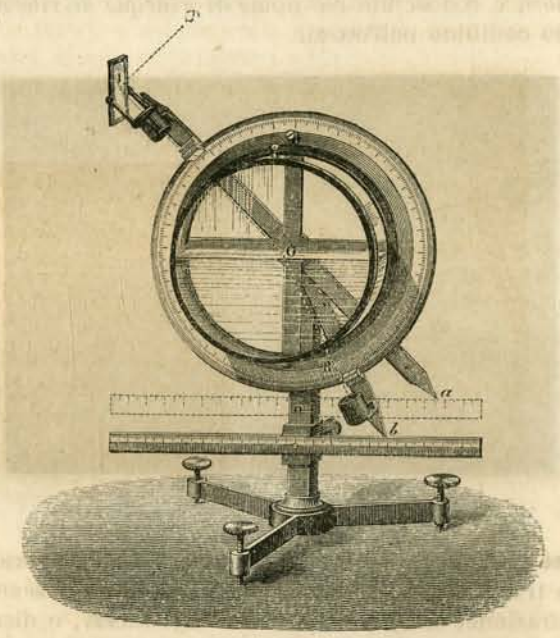


Fig. 666.

lo si dirige, inclinando opportunamente lo specchio, sul centro *O*, facendogli attraversare un piccolo tubo munito di diaframma. L'alidada *O a*, munita di verniero, dà il valore esatto dell'angolo di incidenza. Il raggio luminoso si rifrange, e se ne trova la posizione, col muovere una seconda alidada *O R*, finchè il raggio luminoso sortente dal vaso, vada ad incontrare esattamente il piccolo diaframma del tubo che la termina. Il raggio uscente dal vaso in direzione normale alla parete, non prova alcuna rifrazione, quindi, la posizione dell' alidada stabilisce esattamente la direzione del raggio rifratto. Si possono leggere sul cerchio i valori degli angoli di incidenza e di rifrazione; si fa il rapporto dei loro seni e si trova che, facendo variare l' angolo di incidenza, questo rapporto

rimane costante. Si possono pure misurare direttamente i seni col mezzo delle estremità *a* e *b* delle alidade, e di un regolo graduato orizzontale, che può scorrere parallelamente a sè stesso.

Si osservi che, con questo apparecchio, riescirebbe assai facile di far giungere il raggio luminoso dalla parte inferiore e che, in questo caso, il rapporto dei seni rimarrebbe lo stesso, ciò che vuol dire che il raggio luminoso, giungendo in senso inverso, ripassa esattamente per gli stessi punti. Questo principio, abbastanza evidente a *priori*, è conosciuto col nome di *principio del ritorno inverso*, ed è di uso continuo nell'ottica.

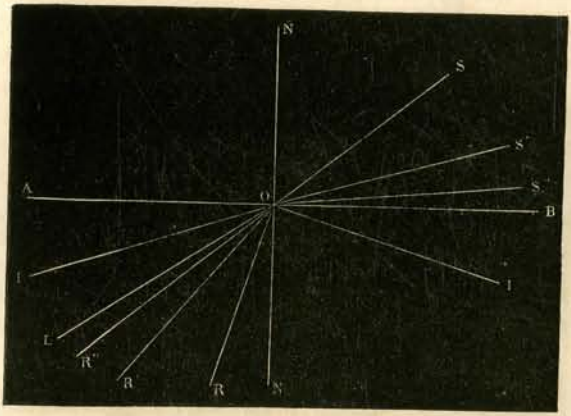


Fig. 667.

720. Indice di rifrazione. — Il valore numerico del rapporto costante che passa tra il seno dell'angolo di incidenza ed il seno dell'angolo di rifrazione, cambia colla natura dei mezzi, e dicesi *indice relativo di rifrazione*. Se si suppone che il raggio luminoso passi dal vuoto nella sostanza considerata; il rapporto di cui si tratta è, in tal caso, sempre maggiore dell'unità, e non dipende che dalla natura della sostanza. Gli è dunque questo un numero specifico, che serve a definire la sostanza stessa, e costituisce un carattere fisico assai importante. Gli si dà il nome di *indice di rifrazione*. L'indice di rifrazione dell'aria essendo assai piccolo rispetto a quello della maggior parte dei solidi e dei liquidi, se ne trascura il valore nel maggior numero delle applicazioni, e si suppone che l'indice sia lo stesso, tanto se il raggio passa dall'aria in una data sostanza, o se passa dal vuoto nella sostanza stessa. Rigorosamente parlando non si può trascurare l'azione dell'aria, e, quando si conosca l'indice di rifrazione di una sostanza rispetto all'aria, bisogna moltiplicarlo per l'indice di rifrazione dell'aria, per ottenere l'in-

dice assoluto della sostanza stessa. La tavola seguente fornisce l'indice di rifrazione di alcune sostanze.

Indice di rifrazione.

Diamante	2,755	Etere	1,358
Solfo fuso	2,148	Umore aquoso dell'occhio	1,337
Boracite	1,701	Umore vitreo	1,339
Solfuro di carbonio	1,678	Strato esterno del cristallino	1,337
Flint-glass	1,605	Strato medio	1,379
Vetro Saint-Gobain	1,543	Strato centrale	1,399
Crown-glass	1,534	Aqua	1,336
Alcool	1,374	Aria	1,00029
Albumina	1,360		

721. Angolo limite. — Dalla legge di Descartes consegue che, quando un raggio di luce tende a passare da un mezzo in un altro più denso, ad ogni angolo di incidenza corrisponde un angolo di rifrazione determinato. Lo stesso non accade quando un raggio luminoso passa da un mezzo più denso ad uno meno denso. Si considerino infatti (fig. 667) i raggi SO, $S'O$ $S''O$ incidenti su di un mezzo più denso; i raggi rifratti sono OR, OR', OR''; all'incidenza di 90° corrisponde il raggio rifratto OL. Reciprocamente, se i raggi OR, OR', OR'' arrivano dal mezzo più denso, sortiranno secondo le OS, OS', OS''; al raggio incidente OL corrisponde il raggio emergente OB, che forma colla normale un angolo di 90°. L'angolo che corrisponde ad un'emergenza di 90° gradi, si deduce facilmente dalla legge di Descartes. Quest'angolo porta il nome di *angolo limite*. Nel passaggio dall'aqua all'aria, questo angolo ha per valore 48°,35; è di 41° pel passaggio dal vetro all'aria.

Posto n l'indice relativo del mezzo più denso, si deve avere:

$$\frac{sen\ 90^\circ}{sen\ x} = n\text{; da cui } sen\ x = \frac{1}{n}$$

che fornisce il valore dell'angolo limite.

Se un raggio IO che tende ad uscire dal mezzo più rifrangente sotto un angolo maggiore dell'angolo limite, la legge di Descartes non è più applicabile, e l'esperienza mostra che il raggio vien riflesso all'interno secondo OI. Questo fenomeno porta il nome di *riflessione totale;* ciò non vuol dire già che non vi sia alcuna perdita di luce nella riflessione, ma bensì, che nessun raggio esce all'esterno. Si può dunque enunciare la seguente proposizione: *Quando un raggio luminoso tende ad uscire da un mezzo più infrangente sotto un angolo maggiore dell'angolo limite, il raggio vien totalmente riflesso all'interno.*

Il fenomeno della riflessione totale si osserva in circostanze assai note. Se, per esempio, si immerge un cucchiajo in un bicchiere contenente dell'aqua (fig. 668), e lo si tien alto al disopra degli

occhi, si vede la superfice dell'aqua, brillante come un metallo polito alla sua parte inferiore, ed una parte del cucchiajo vi forma la sua immagine, come in uno specchio.

Negli aquari, tanto comuni ai nostri giorni, la riflessione totale

Fig. 668.

aggiunge molto all'aspetto interessante dell'apparecchio. Nella superfice superiore del liquido si vedono, infatti, le immagini dei pesci e dei diversi oggetti contenuti nell' aquario. Quando questo sia disposto opportunamente, rispetto all'occhio dell' osservatore, quando i muschi, le piante marine, le conchiglie, vi son disposte

con una certa simmetria, l'assieme di questi oggetti e delle loro immagini formate nella superfice superiore del liquido, può produrre un'effetto assai aggradevole.

722. Miraggio. — Il miraggio è pure un effetto della riflessione totale. Questo singolare fenomeno si osserva frequentemente nelle pianure sabbiose scaldate dal sole. L'osservatore vede all'orizzonte, come un' immensa zona d'aqua, in seno alla quale si riflettono, come in uno specchio, il cielo, le nubi, gli alberi ecc. Il miraggio è comune in Egitto, e l'armata francese, all'epoca della celebre spedizione del 1798, fu vittima di spessi disinganni. Monge, che faceva parte della spedizione, diede sul posto una spiegazione del fenomeno, divenuta classica.

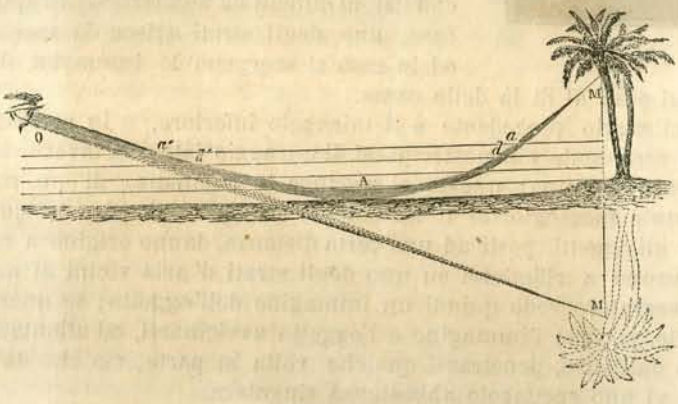


Fig. 669.

Sotto l'azione dei raggi solari, quando l'atmosfera è calma, gli strati d'aria che sono in contatto col suolo si scaldano fortemente, e può accadere che, sopra un piccolo spessore, la loro densità decresca coll'avvicinarsi al suolo. È un fatto puramente accidentale, dipendente da diverse circostanze, proprie al luogo dal quale si osserva, che ha poca estensione e che non porta quindi alcun pregiudizio alla legge generale del decrescimento di densità dell'aria coll'elevazione. Nel caso in cui si verifichino queste condizioni fisiche, ecco cosa può accadere: un raggio luminoso, giunto dal punto M (fig. 669), va a rinfrangersi successivamente in a, d, allontanandosi dalla normale; ad un certo momento la sua direzione coinciderà con quella dello strato d'aria A, e questo farà l'ufficio di specchio; il raggio seguirà dunque, in senso inverso, una strada $A\,d'\,a'$, simile a quella già seguita, ed arriverà all'occhio dell'osservatore, il quale vedrà in M' un' immagine del punto M, mentre, nello stesso tempo vedrà l'oggetto direttamente. Si ha dunque

uno strato d'aria che, ad un certo momento, diventa specchio; ed agisce quindi come un'estensione d'aqua.

Si può dare una certa consistenza a questa teoria colla seguente esperienza. Si prende una cassa rettangolare in latta, della quale si tolgono due pareti opposte; si scalda il fondo della cassa, all'esterno, con carboni accesi, e si va a porsi, per osservare, dal lato dove son state tolte le pareti. Generalmente non si vede nulla di particolare, fuori che un certo tremolio nel campo della visione, prodotto dal movimento degli strati d'aria dilatantesi. Ma, tal' altra fiata, si stabilisce invece una certa calma, dovuta a condizioni difficili da analizzarsi; in questo caso, uno degli strati agisce da specchio, ed in esso si scorgono le immagini degli oggetti posti al di là della cassa.

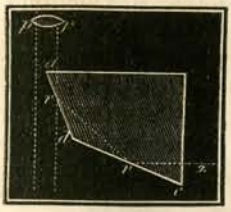


Fig. 670.

Il miraggio precedente è il miraggio inferiore, e lo si osserva assai raramente nei nostri paesi. Il miraggio laterale, invece, è abbastanza comune; questo si produce in vicinanza di un muro esposto a mezzogiorno e fortemente scaldato dal sole. In questo caso, gli oggetti, posti ad una certa distanza, danno origine a raggi che vanno a riflettersi su uno degli strati d'aria vicini al muro. L'osservatore vede quindi un'immagine dell'oggetto; se questo è mobile, si vede l'immagine e l'oggetto avvicinarsi, od allontanarsi l'uno dall'altro, penetrarsi qualche volta in parte, ciò che dà origine ad uno spettacolo abbastanza singolare.

Il miraggio superiore è assai frequente in mare, quando l'aria è calma; è prodotto dalla riflessione dei raggi provenienti da un bastimento, contro strati d'aria superiori ad esso; si vede allora un' immagine rovesciata del bastimento, posta al disopra di questo, e presentante, ordinariamente, una spece di confusione o penetrazione nella regione di contatto.

723. Camera chiara. — La camera chiara, istrumento assai usato, tanto pei disegni, come per la misura degli ingrandimeuti prodotti dagli istrumenti d'ottica, è pure fondata sul fenomeno della riflessione totale. Questo apparecchio può ricevere disposizioni diverse, la figura 670 rappresenta quella proposta da Wollaston. L'organo esenziale ne è un prisma a quattro faccie, del quale, due faccie sono perpendicolari l'una all'altra, e le altre si incontrano sotto un'angolo di 135°; gli altri due angoli sono sensibilmente di 67°,5. Una delle faccie fra loro perpendicolari, si rivolge verso gli oggetti esterni; un raggio x entra normalmente su questa faccia, batte successivamente sulle due faccie inclinate fra loro a 135°, formando un angolo di circa 67°, angolo assai superiore all'angolo limite; si riflette dunque normalmente sulla seconda delle due faccie fra loro perpendicolari, e può esser ricevuto dall'occhio. Si può disporre lo spigolo a del prisma in modo che, una metà della pupilla $p\,p$ riceva il fascio x proveniente dagli oggetti esterni, e

l'altra metà un' altro fascio, proveniente da un foglio di carta bianca, posto al di sotto. Si potrà dunque, in una volta, vedere projettata sul foglio di carta, e l'immagine virtuale degli oggetti esterni, e la punta di una matita, colla quale si potranno disegnare gli oggetti stessi. Il prisma è portato orizzontalmente da un piede (fig. 671), e può girare liberamente sul suo asse. La faccia superiore è coperta da uno schermo, portante un' apertura di qualche millimetro di larghezza, e posto in vicinanza allo spigolo *a*, così da sorpassare il prisma di una quantità variabile.

L'occhio avendo bisogno di addattarsi alle diverse distanze degli oggetti che vede, la simultaneità di due immagini che, infatto, sono assai disegualmente lontane, produce rapidamente una fatica assai pronunciata. Si attenua assai questo inconveniente, ponendo sul tragitto dei raggi, ed innanzi al prisma, un vetro concavo, il quale ravvicina, come si dirà nel capitolo seguente, l'immagine virtuale degli oggetti esterni. Si può anche tagliare la faccia *D D* in modo da darle la curva necessaria a produrre l'effetto.

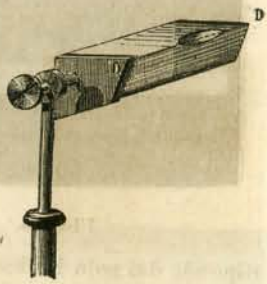


Fig. 671.

724. Rifrazione attraverso ad una lamina a faccie parallele. — Quando un fascio di raggi luminosi incontra normalmente una lastra a faccie parallele, non ha luogo rifrazione alcuna e, quindi, nemmeno deviazione apparente del punto da cui proviene il fascio. Diversamente succede quando il raggio arriva sulla lamina sotto un' incidenza obliqua. Si consideri, per esempio, (fig. 672) un raggio incidente *S I*, che incontra la lamina sotto un'angolo di incidenza *S I N*; il raggio si rifrange, e prende la direzione *S R*. Al punto *R*, l'angolo di incidenza all' uscita nell' aria, essendo uguale all' angolo di rifrazione in *I*, risulta, dal principio più sopra accennato (718) che l'angolo di emergenza *S' R N'* è uguale al *S I N*, vale a dire, che il raggio emergente *R S'* è parallelo al raggio incidente *S I*, ma non però sul suo prolungamento (1).

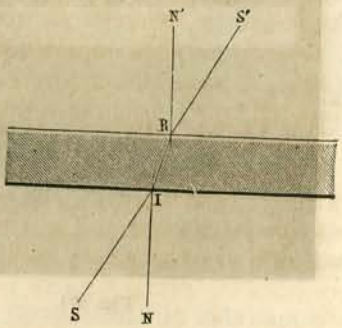


Fig. 672.

Sia, dietro ciò, *S* un punto luminoso (fig. 673) che manda un fa-

(1) Sieno, *i* l'angolo di incidenza alla faccia esterna della lamina, *r* il corrispondente angolo di rifrazione; *i'* l' angolo di incidenza all' interno dell' altra faccia, *e* l'angolo di emergenza, *n* l'indice di rifrazione. Si hanno le relazioni:

$$\frac{sen\ i}{sen\ r} = n; \quad \frac{sen\ i'}{sen\ e} = \frac{1}{n}$$

scio di raggi luminosi sopra una delle faccie di una lamina a faccie parallele; questo fascio attraversa la lamina, ed i raggi emergenti riescono paralleli agli incidenti; siccome però essi hanno subito uno spostamento, così il loro punto di concorso S' si trova cangiato, ed è in questo punto che l'occhio vede il punto S. Questo spostamento dipende, ad una volta, e dall'indice di rifrazione della sostanza, e dallo spessore della lamina. A parità di condizioni dipende dal solo indice di rifrazione, e può fornire un mezzo molto semplice per determinarlo.

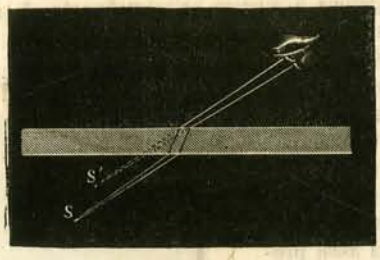


Fig. 673.

725. Immagini multiple prodotte dalle lamine a faccie parallele. — Si immagini un punto luminoso S (fig. 674) posto dinanzi ad una lamina trasparente a faccie parallele; i raggi emanati da questo punto subiscono, contro la faccia superiore, una riflessione, che dà origine all'immagine S'; essi entrano nella lamina, si riflettono sulla faccia inferiore, e danno luogo ad una seconda immagine S^0; vanno poi a riflettersi sulla faccia superiore, e di là una seconda volta sulla faccia inferiore, ciò che dà origine all'immagine S_1,

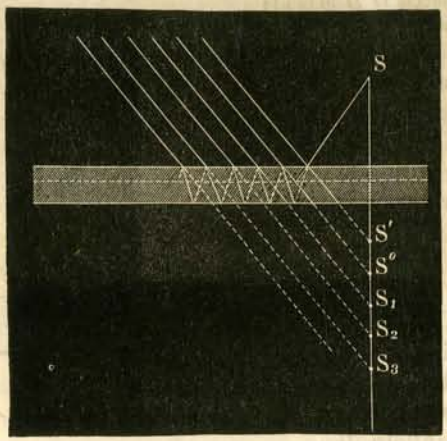


Fig. 674.

quindi:

$$\frac{sen\ i}{sen\ r} = \frac{sen\ e}{sen\ i'}$$

ed essendo $r = i'$, ed ambedue acuti:

$$sen\ i = sen\ e;$$

siccome anche gli angoli i ed e sono ambedue acuti, da questa relazione si deduce $i = e$. Epperò, i punti d'incidenza e di emergenza, non trovandosi sulla stessa normale alle faccie, il raggio emergente sarà parallelo all'incidente, ma non sul suo prolungamento.

NOTA DEL TRADUTTORE.

e così di seguito; di modo, che l'occhio, posto ad una certa distanza dal punto *S*, così da poter scostare sufficientemente le immagini, ne scorgerà una serie, lo splendore delle quali diminuisce però rapidamente, in causa della perdita dovuta alle successive riflessioni. Gli è per questo motivo che, se si pone una candela accesa dinanzi ad uno specchio ordinario (fig. 675), e si va a porsi in modo da guardare obliquamente nello specchio, si scorge una prima immagine un po' fosca, dovuta alla riflessione sulla superfice del vetro, una seconda, assai più brillante, dovuta alla riflessione sul-

Fig. 675.

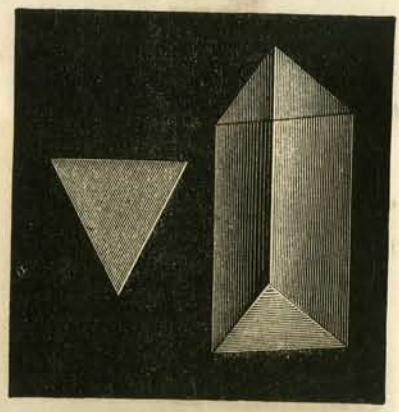


Fig. 676.

l'amalgama, ed una serie di immagini, la di cui chiarezza va decrescendo, dovute alle successive riflessioni sulla superfice dell'amalgama.

Se il punto luminoso osservato, si trova a distanza infinitamente grande, se, per esempio, è una stella, le diverse immagini si devono confondere in una sola, la di cui posizione è assolutamente invariabile, qualunque sia il fascio particolare arrivante all'occhio, purchè però la lastra abbia le faccie rigorosamente parallele. Questa esperienza fornisce il mezzo di constatare se questa condizione è soddisfatta. Si pone perciò la lamina su tre punte; si guarda l'immagine con un cannocchiale munito di reticolo, e si osserva se, durante il movimento della lastra, l'immagine rimane assolutamente immobile.

726. Rifrazione attraverso ad un prisma. — Si dà in ottica il nome di prisma ad un mezzo trasparente (fig. 676), limitato da faccie piane non parallele fra loro. Ordinariamente il prisma è in vetro, e forma

un prisma retto, avente per base un triangolo equilatero, od isoscele. Se si suppone fatta nel prisma una sezione con un piano perpendicolare agli spigoli, si ottiene la *sezione principale*, la quale non è altro che il triangolo di base. L'intersezione di due faccie dicesi *spigolo rifrangente*, e l'angolo da esse formato *angolo rifrangente*.

Il prisma è ordinariamente montato su di un piede (fig. 677), e fissato ad un pezzo di metallo, in modo da poter girare intorno al suo asse. Il pezzo stesso è mobile intorno ad un asse verticale, ed è anche munito di una snodatura, cosichè, il prisma, può venir collocato in una posizione qualunque nello spazio.

Nel passaggio della luce attraverso al prisma sono da studiarsi due fatti distinti, quello della *deviazione* e quello della *dispersione*. È qui il luogo di occuparci del solo primo di questi fatti.

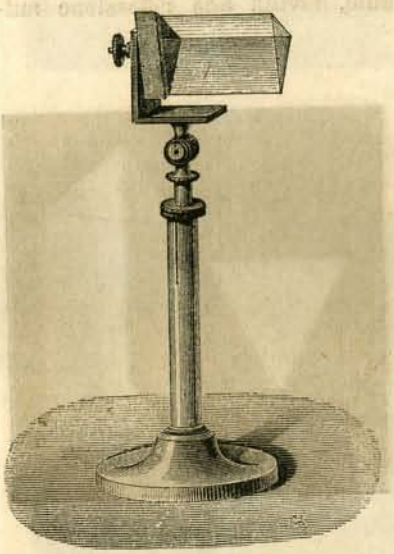


Fig. 677.

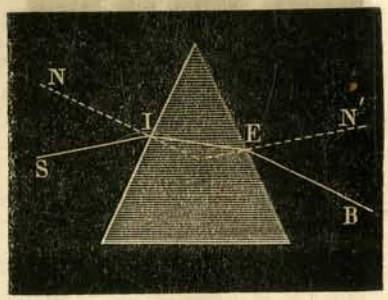


Fig. 678.

E sempre possibile, appoggiandosi alle leggi della rifrazione, di determinare l'andamento di un raggio attraverso al prisma, qualunque sia l'incidenza del raggio stesso. Lo studio però riesce assai semplificato, se si suppone che il piano di incidenza si confonda con quello di una sezione principale del prisma. Si immagini (fig. 678) un raggio luminoso SI, situato nel piano della sezione principale del prisma; al punto di incidenza I, il raggio, passando in un mezzo più denso, si avvicina alla normale IN, e prende la direzione IE. Al punto E il raggio, passando in un mezzo meno denso, si allontana dalla normale EN' e prende la direzione EB. L'effetto delle due rifrazioni è dunque quello di abbassare il raggio verso la base del prisma, di allontanarlo dal vertice, vale a dire di allontanarlo dall'angolo di rifrangenza.

Si può verificare direttamente tal risultato, facendo entrare un raggio solare in una camera oscura, e facendolo battere sul prisma, in vicinanza al vertice di questo, in modo che, una sola parte del fascio, riesca intercettata. Si può così seguire direttamente l'andamento del fascio diretto, e di quello che ha attraversato il prisma, e constatarne la deviazione verso la base del prisma.

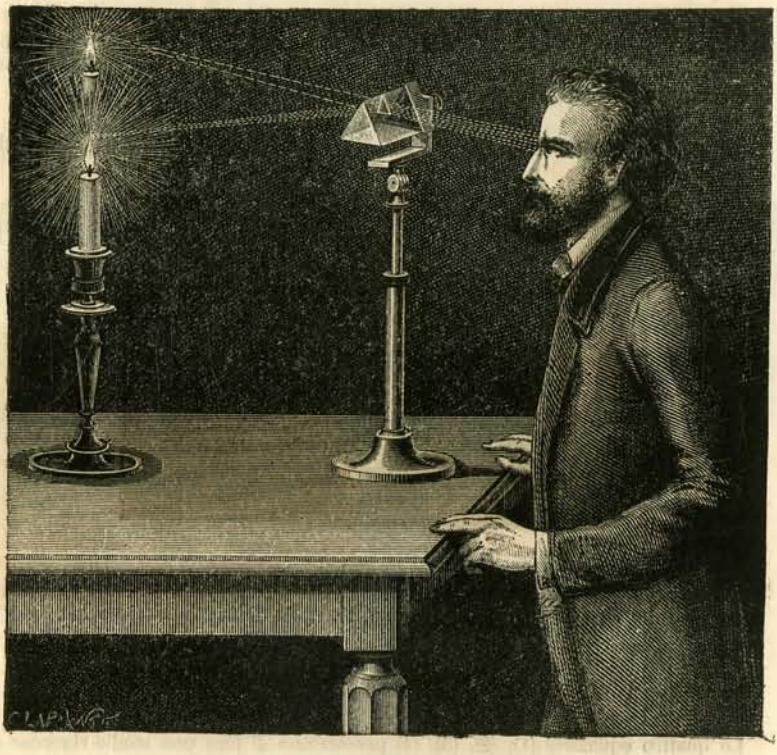


Fig. 679.

Dal momento che i raggi son deviati verso la base del prisma, riesce chiaro che l'occhio che li riceve, deve veder l'oggetto da cui provengono, in una posizione più elevata di quella che esso occupa effettivamente. Questo fatto è facile da constatarsi coll'esperienza. Basta interporre fra l'occhio e la fiamma di una candela (fig. 679) un prisma, disposto collo spigolo rifrangente orizzontalmente; si vede allora l'immagine della candela assai sensibilmente rialzata, e tanto più, quanto più l'angolo di rifrangenza del prisma è grande.

727. Relazione fra i diversi elementi della rifrazione prodotta da un prisma. — Deviazione minima. — Si consideri un raggio incidente SI (fig. 680), posto nel piano di una sezione principale, ed entrante nel prisma sotto l'angolo di incidenza i. Se r è l'angolo di rifrazione corrispondente, ed n l'indice di rifrazione, si avrà la relazione:

(1) $$\text{sen } i = n \text{ sen } r,$$

ugualmente, posti i' l'angolo di incidenza all'uscita, ed r' l'angolo di emergenza:

(2) $$\text{sen } i' = n \text{ sen } r'.$$

Se si prolunga la direzione del raggio emergente fino ad incontrarsi colla direzione del raggio incidente, si ottiene l'angolo sotto il quale si incontrano i raggi incidente ed emergente, ed uguale precisamente alla deviazione D, prodotta dal prisma. Dalla figura si ricava evidentemente:

$$D = i - r + i' - r'.$$

D'altra parte, nel quadrilatero $AIMI'$, i due angoli in I ed I' sono retti; gli

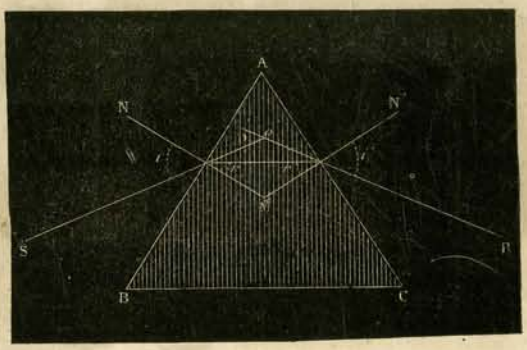


Fig. 680.

altri due sono dunque supplementari; ma l'angolo M è supplemento di $r + r'$; dunque:

(3) $$A = r + r'$$

e per conseguenza:

(4) $$D = i + i' - A.$$

Le quattro equazioni (1), (2), (3), (4) permettono di fare uno studio rigoroso di tutte le circostanze della rifrazione nel piano della sezione principale del prisma. Senza fermarci su questa analisi, che esce un po' dallo spirito di questo trattato, esaminiamo però in particolare una circostanza assai importante. Quando l'angolo di incidenza fosse i', l'angolo di emergenza sarebbe i, e la deviazione conserverebbe lo stesso valore. Vi sono dunque due angoli di incidenza i ed i', che producono la medesima deviazione. Ciò posto, si diminuisca un po' l'angolo i; l'angolo i' diminuirà esso pure e, secondo l'equazione (4), lo stesso accadrà anche dell'angolo di deviazione; man mano dunque che i due angoli i ed i' si accostano allo stesso valore, la comune deviazione da loro prodotta diminuirà pure; questa avrà dunque il suo valore minimo, quando l'angolo di incidenza sarà uguale all'angolo di emergenza: si ha allora ciò che dicesi la *deviazione minima*. È facile di disporre un prisma nella posizione corrispondente all'angolo della deviazione minima: basta perciò di far girare il prisma attorno al suo asse e seguire lo sposta-

mento dell'immagine: si trova così una posizione in cui l'immagine sembra stazionaria per qualche istante, ad onta del movimento del prisma; è questa precisamente la posizione che corrisponde al minimo di deviazione.

In questo caso, le equazioni precedenti si semplificano notevolmente, giacchè si ha $i = i'$ ed $r = r'$; le equazioni (3) e (4) danno: $r = \frac{A}{2}$ ed $i = \frac{D+A}{2}$, dalle quali si deduce, per mezzo dell'equazione (1):

$$n = \frac{\operatorname{sen} \frac{D+A}{2}}{\operatorname{sen} \frac{A}{2}},$$

relazione importante, che permette di determinare l'indice di rifrazione col solo mezzo dell'angolo di rinfrangenza del prisma, e della deviazione minima. È questo

Fig. 681.

il principio sul quale è fondato il metodo più in uso per la determinazione dell'indice di rifrazione delle diverse sostanze.

728. Doppia rifrazione. — In tutti i casi citati non si è parlato che di un solo raggio rifratto; non se ne ha infatti che uno quando si tratti di liquidi, di solidi trasparenti non cristallizzati, o di quelli che cristallizzano nel sistema regolare, le di cui forme tipiche sono il cubo e l'ottoedro regolare. In tutte le altre sostanze cristallizzate, ad un raggio incidente unico, corrispondono due raggi rifratti. Questo fenomeno venne scoperto nel 1670 da Erasmo Bartholin nello spato d'Islanda; venne poi studiato con molta cura da Huyghens, il quale spiegò con maestrevole precisione il modo con cui accade la doppia rifrazione in questa sostanza.

Lo spato d'Islanda è carbonato di calce cristallizzato; il suo nome gli proviene dagli importanti depositi di questa sostanza nell'Islanda. La forma sotto la quale lo si incontra generalmente è quella di un romboedro.

Per constatare la doppia rifrazione dello spato, basta porre un campione della sostanza sui caratteri di un libro (fig. 681), questi appaiono raddoppiati; non si riscontra nelle immagini la tinta nera dei caratteri; le immagini son grigie, e non è che nei luoghi dove esse si sovrappongono, che il tono nero è lo stesso di quello delle lettere, oppure di quello che si osserverebbe attraverso ad una sostanza monorifrangente.

Onde intendere i caratteri fisici della rifrazione nello spato, bisogna analizzare un po' la forma di questo. Se si considera il solido romboide ideale (fig. 682), al quale si riferisce la forma dello spato, dicesi *asse del cristallo*, la retta che unisce i vertici degli angoli triedri ottusi. Non si trovano mai, o quasi mai, solidi re-

golarmente formati come quello rappresentato dalla figura; ma l'inclinazione delle faccie non riesce perciò alterata; qualunque sia il loro sviluppo relativo, è sempre facile l'assegnare la direzione dell'asse, malgrado l'irregolarità apparente del cristallo.

Onde studiare le leggi della rifrazione si dà alla sostanza la forma di prismi, i di cui spigoli hanno una relazione di posizione definita rispetto all'asse del cristallo. Collo studio si è giunti ai seguenti risultati:

1.° Dei due raggi rifratti forniti da un raggio incidente sullo spato, uno segue la legge di Descartes, e dicesi *raggio ordinario;* l'altro non segue tal legge, e

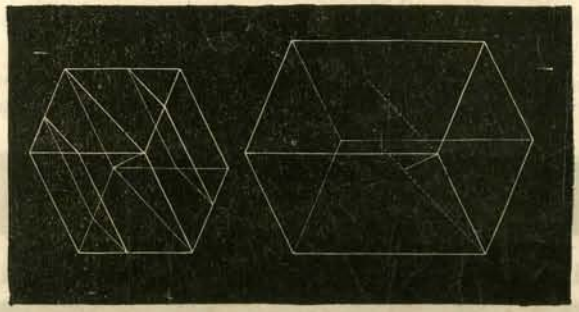


Fig. 682.

dicesi *raggio straordinario.* Quest'ultimo, generalmente, non si trova nel piano di incidenza.

2.° Quando il piano di incidenza contiene l'asse del cristallo, il raggio straordinario si trova nel piano di incidenza, ma l'angolo di rifrazione non segue la legge di Descartes.

3.° Quando il piano di incidenza è perpendicolare all'asse del cristallo, i raggi seguono ambidue la legge di Descartes, ma con indici di rifrazione diversi. Dicesi indice ordinario, l'indice del raggio ordinario; indice straordinario, quello del raggio straordinario.

CAPITOLO IV.

LENTI.

729. Lenti. — Si dà il nome di *lenti* a masse di vetro terminate da due superfici sferiche. Se ne distinguono di diverse sorta, riferentisi a due tipi.

1.° Le lenti *convergenti*, le quali presentano una delle forme rappresentate dalla figura 683. La prima è detta *lente biconvessa;* è è terminata da due faccie sferiche, le di cui curvature sono dirette in senso opposto l'una all'altra. La seconda, detta *piano-*

convessa, è compresa tra una superfice piana ed una superfice sferica. La terza, che porta il nome di *menisco convergente*, è terminata da due faccie, la di cui curvatura è nello stesso senso.

Queste tre spece di lenti sono tutte più spesse alla parte centrale che non verso i lembi, e ricevono il nome comune di lenti convergenti, perchè, due raggi che passano attraverso ad esse, risentono, per la rifrazione, un accrescimento di convergenza; ordinariamente anche, da divergenti che erano all'entrata, i raggi divengono convergenti all'uscita.

2.° Le lenti divergenti (fig. 683) producono un' effetto inverso: esse aumentano la divergenza dei raggi che le attraversano. Sono

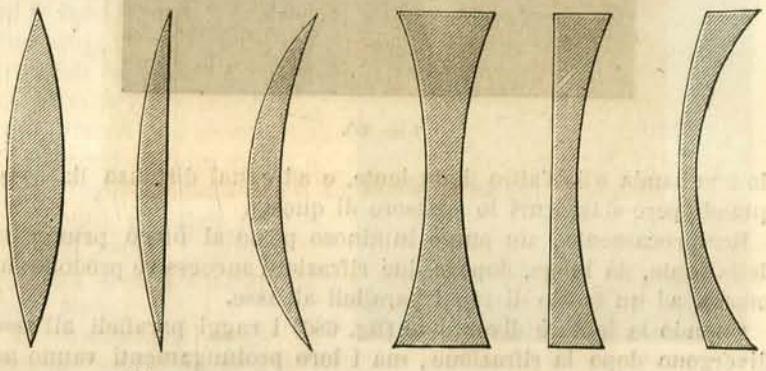


Fig. 683. Fig. 684.

sempre di maggior spessore ai lembi, che non nelle parti centrali: presentano pure tre forme distinte. La prima, limitata da due superfici sferiche, concave verso l'esterno, dicesi *lente biconcava*. La seconda, compresa fra una superfice piana ed una superfice sferica concava verso l'esterno, dicesi *lente piano-concava*. La terza, limitata da due superfici, l'una concava, l'altra convessa, porta il nome di *menisco convergente*.

Le lenti sono gli organi fondamentali di tutti gli istrumenti di ottica, e le si vedono impiegate in un gran numero di circostanze speciali; si può dire che in esse si riassume la parte pratica dell' ottica. Gli è dunque importante di formarsi un' idea precisa, almeno delle loro proprietà fondamentali. Noi faremo conoscere queste proprietà nel modo il più succinto possibile.

730. Fuoco principale. — Dicesi *asse principale*, in una lente, la retta che passa pei centri delle due superfici sferiche che la terminano.

Quando i raggi luminosi cadono su di una lente convergente, parallelamente all' asse principale, dopo le due rifrazioni subite

all'entrata e all' uscita, passano tutti per uno stesso punto F, che dicesi *fuoco principale* (fig. 685). La distanza AF, del fuoco dalla lente, dicesi *distanza focale principale*. Questa distanza è tanto più piccola, quanto più pronunciata è la curvatura della lente. Una lente dicesi a lungo o corto fuoco, a seconda che la sua distanza focale è grande o piccola. Il fuoco può considerarsi indifferentemente

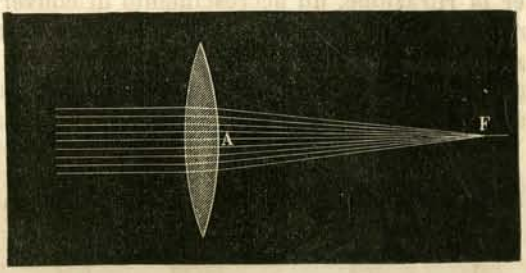


Fig. 685.

da una banda o dall'altra della lente, e ad egual distanza da essa, quando però si trascuri lo spessore di questa.

Reciprocamente, un punto luminoso posto al fuoco principale della lente, dà luogo, dopo le due rifrazioni successive prodotte dal mezzo, ad un fascio di raggi paralleli all'asse.

Quando la lente è divergente (fig. 686) i raggi paralleli all'asse divergono dopo la rifrazione, ma i loro prolungamenti vanno ad incontrarsi in un certo punto F, che è il fuoco principale virtuale.

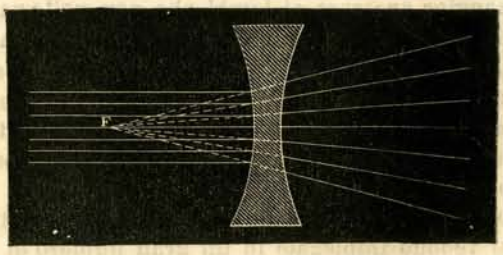


Fig. 686.

La distanza del punto F dalla lente, porta sempre il nome di distanza focale principale.

731. Centro ottico. — Assi secondari. — Sieno O ed O' i centri delle superfici sferiche della lente (fig. 687), si traccino i raggi OI ed OE, paralleli fra loro, e si consideri la retta IE come raggio rifratto; sarà facile di costruire il raggio incidente SI che ne sarebbe origine. Ora, l'angolo di rifrazione interno al punto E, essendo uguale

a quello al punto I, l'angolo di emergenza dovrà essere uguale all'angolo di incidenza; i raggi SI ed ER sono dunque fra loro paralleli.

La retta IE incontra l'asse OO' nel punto C, e determina due triangoli OCI, $O'CE$, evidentemente simili, i quali forniscono la relazione:

$$\frac{CO}{CO'} = \frac{R}{R'},$$

R essendo il raggio della sfera che ha per centro il punto O, ed R' il raggio della sfera che ha per centro O'.

Dunque, se invece dei due raggi paralleli OI ed $O'E$, se ne conducono due altri, sempre però paralleli fra loro, il raggio rifratto interno passerà ancora pel punto C; lo stesso accadrà per tutti i raggi incidenti ed emergenti, paralleli fra loro. Il punto C porta il nome di *centro ottico* della lente.

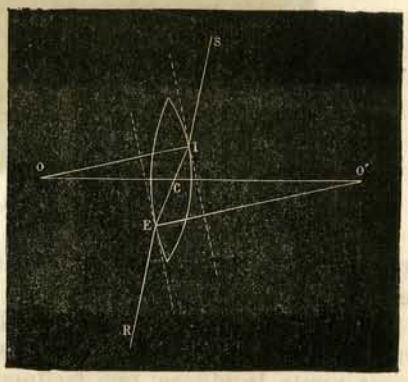


Fig. 687.

In qualunque lente dunque (convergente o divergente), si può considerare un punto detto *centro ottico*, *pel quale passano tutti i raggi rifratti interni, corrispondenti a raggi le di cui direzioni, all'incidenza ed all'emergenza, sono paralleli.* Se si trascura lo spessore delle lenti, approssimazione generalmente addottata, si scorge come i raggi IS ed ER ed il raggio interno IE, si trovano in una stessa linea retta, che può venir considerata come un raggio attraversante la lente senza deviazione. Qualunque linea passante pel centro ottico gode della stessa proprietà, e costituisce ciò che dicesi *asse secondario.*

La convergenza in uno stesso punto, dei raggi paralleli all'asse principale, non è esclusiva a questa direzione particolare. Sempre, quando raggi giungono parallelamente su di una lente (fig. 688), convergono poi in uno stesso punto f; questo punto è situato sull'asse secondario acf, parallelo alla data direzione. Si possono dunque avere altrettanti fuochi principali, quante sono le direzioni possibili pei raggi luminosi.

L'assieme di questi fuochi si trova su di un piano perpendicolare a l'asse passante pel fuoco principale; questo piano dicesi *piano focale.*

732. Fuochi conjugati. — Quando un punto luminoso S manda dei raggi su di una lente (fig. 689), dopo la rifrazione, tutti i raggi vanno a concorrere in uno stesso punto S'. Se il punto luminoso fosse S', il fuoco sarebbe evidentemente in S; questi due punti vengono detti, come nella teoria degli specchi, *fuochi conjugati*. Quando il punto luminoso è sull' asse principale, lo è anche il suo fuoco conjugato; quando il punto luminoso è in una posizione qualun-

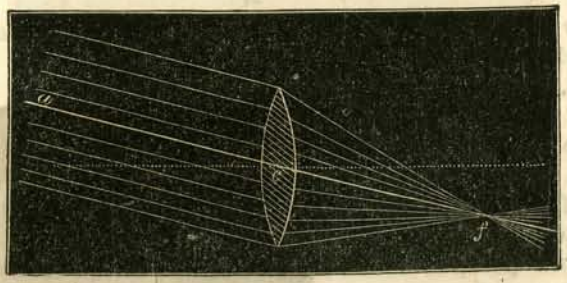


Fig. 688.

que, il suo fuoco conjugato si trova sull'asse secondario corrispondente al punto stesso.

Questa proprietà fondamentale delle lenti convergenti, di concentrare in uno steso punto di concorso i raggi provenienti da uno stesso punto luminoso, può facilmente verificarsi coll' esperienza. Dinanzi ad una lente biconvessa si ponga una sorgente luminosa di piccola estensione, in modo che il suo centro si trovi sul-

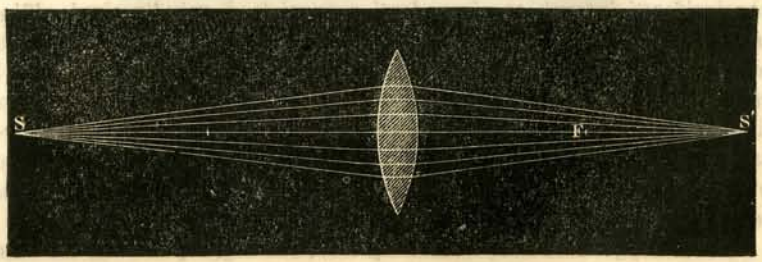


Fig. 689.

l'asse principale della lente; dall'altra banda della lente, con uno schermo, sarà facile di trovare, sull'asse principale, il punto di concorso dei raggi rifratti, corrispondenti ai raggi luminosi aventi per origine il centro della sorgente.

Lo stesso fatto si produce quando la sorgente luminosa non si trova sull'asse principale. Appoggiandosi a questi risultati si può,

con una costruzione assai semplice, determinare la posizione del fuoco conjugato di un punto, posto innanzi ad una lente, fuori dall'asse principale. Si ammette, ben inteso, che l'apertura della lente sia assai piccola rispetto al raggio di curvatura delle sue faccie, e che non si tratti che di raggi poco lontani dall'asse. Sia M il punto luminoso, posto innanzi ad una lente, a distanza a maggiore della distanza focale principale. Si tracci l'asse secondario corrispondente al punto luminoso; come già si sa, il fuoco conjugato deve trovarsi su questo asse. Fra i raggi che emanano dal punto luminoso, se ne consideri uno parallelo all'asse principale, il qual raggio, dopo la duplice rifrazione all'entrata ed all'uscita della lente, passa pel fuoco principale, e poi, prolungato, va ad incontrare l'asse secondario tracciato, in un punto m; in questo punto convergono tutti i raggi partiti dal punto M; ed m è dunque il fuoco conjugato di M. In questa costruzione si trascura lo spessore della lente, alla quale si sostituisce un *piano rifrangente*, che produrrebbe, da solo, l'assieme delle deviazioni subite dai raggi luminosi, all'entrata ed all'uscita del mezzo trasparente.

Quando il punto luminoso è posto sull'asse principale, la costruzione precedente non è applicabile. Si sceglie, in questo caso, un raggio facente coll'asse principale un piccolo angolo, e si traccia l'asse secondario parallelo al raggio stesso: questo, dopo la rifrazione, passa pel fuoco principale corrispondente all'asse secondario tracciato, e, prolungato, incontra l'asse principale in un punto, che è il fuoco conjugato dal punto luminoso dato.

733. Posizioni relative dei fuochi conjugati. — Ci rimane ora di stabilire la relazione di posizione tra un punto luminoso posto innanzi ad una lente biconvessa, ed il suo fuoco, vale a dire la relazione tra i due fuochi conjugati.

1.° *Quando il punto luminoso si trova sull' asse principale ed a distanza assai grande dalla lente*, i raggi che provengono da questo punto, e che vanno sulla lente, si possono ritenere paralleli; allora *il fuoco conjugato di questo punto si confonde sensibilmente col fuoco principale della lente.*

2.° *Se il punto luminoso dista dalla lente più del doppio della distanza focale principale, il suo fuoco conjugato si trova dall'altra banda dalla lente e dista, da questa, meno del doppio della distanza focale, principale.*

3.° *Se la distanza del punto luminoso dalla lente è uguale al doppio della distanza focale principale, il suo fuoco conjugato si trova dall'altra banda della lente, e ad una distanza da questa, pure uguale al doppio della distanza focale principale.*

4.° *Se la distanza del punto luminoso dalla lente è compresa tra la distanza focale principale ed il doppio di questa distanza, il suo fuoco*

conjugato si trova dall'altra banda della lente, ad una distanza maggiore del doppio della distanza focale principale. Si osservi poi che, se il punto luminoso si avvicina di una piccola quantità al fuoco principale, il suo fuoco conjugato si allontana rapidamente dal fuoco principale dell'altra faccia della lente.

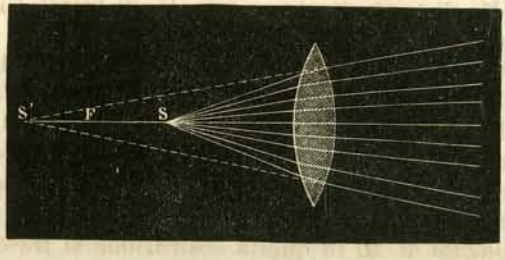


Fig. 690.

5.° *Se il punto luminoso coincide col fuoco della lente, il suo fuoco conjugato si trova a distanza infinita dall'altra faccia*, ed i raggi emergenti si possono ritenere paralleli.

6.° *Se, finalmente, il punto luminoso si trova tra il fuoco principale e la lente, i raggi emergenti dall'altra faccia formano un cono divergente* (fig. 690); cosichè, per l'occhio che riceve questi raggi, le cose passano come se i raggi partissero dal punto S', dove concorrono i loro prolungamenti. In questo caso il fuoco conjugato è dunque *virtuale*.

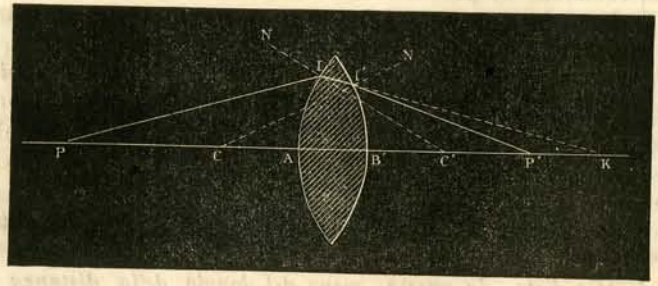


Fig. 691.

734. Formole delle lenti. — Sia (fig. 691) P un punto luminoso, posto sull'asse principale di una lente biconvessa, e si consideri un raggio luminoso particolare PI; questo raggio si rifrange all'entrata della lente, avvicinandosi alla normale, e prende la direzione II'. Se il mezzo che costituisce la lente si estendesse indefinitamente al di là della sua superfice anteriore, il raggio rifratto andrebbe ad incontrare in K l'asse principale. Gli è facile di stabilire una relazione appros-

simata tra la distanza $PA = p$, del punto luminoso alla superfice AI, e la distanza $KA = p_1$, del punto dove il raggio luminoso rifratto incontra l'asse, alla superfice stessa.

Infatti l'area del triangolo IPC' è, secondo un noto teorema di trigonimetria, uguale alla metà del prodotto dei lati IP ed IC' pel seno dell'angolo da essi compreso, il quale, essendo supplementare dell'angolo $NIP = i$, ha il medesimo seno di questo. Si ha dunque:

$$\text{Sup}^{e}.\ IPC' = \frac{IP \cdot IC'}{2} \text{ sen } i.$$

Si avrebbe analogamente:

$$\text{Sup.}^{e}\ IC'K = \frac{IC' \cdot IK}{2} \text{ sen } r.$$

Questi due triangoli, avendo il vertice comune e le basi sulla stessa retta, hanno le aree proporzionali alle rispettive loro basi; dunque:

$$\frac{p + R}{p_1 - R} = \frac{IP}{IK} \cdot \frac{sen\ i}{sen\ r} = \frac{IP}{IK} \cdot n,$$

R essendo il raggio di curvatura IC'.

Ora, nell'ipotesi già indicata di raggi luminosi assai poco lontani dall'asse, si può ammettere che il rapporto di IP ad IK è sensibilmente uguale a quello di p a p_1. La relazione precedente può allora scriversi nel seguente modo:

$$\frac{p + R}{p_1 - R} = n \frac{p}{p_1};$$

da cui:

$$R p_1 + n p R = (n - 1)\, p p_1;$$

relazione dalla quale, dividendone tutti i termini per $p p_1 r$, si ottiene:

$$\frac{1}{p} + \frac{n}{p_1} = \frac{n - 1}{r}. \qquad \text{(a)}$$

Questa formola, essendo indipendente dalla posizione particolare del raggio luminoso scelto, mostra che, tutti i raggi partenti dal punto P, vanno, dopo la rifrazione nel mezzo indefinito, a concorrere nello stesso punto K. Questa conclusione è generale, qualunque sia il senso della curvatura, e qualunque sia la posizione del punto irradiante; onde applicare la formola (a) nei diversi casi, basterà solo niterpretare convenientemente il segno delle quantità che ne fanno parte.

Ciò posto, continuando a seguire l'andamento del raggio considerato, attraverso alla lente; si vede che, al punto I', ha luogo una seconda rifrazione; il raggio si allontana dalla normale e va ad incontrare l'asse principale in P'. Se si suppone un punto luminoso in P', ed un raggio $P'I'$, rinfrangentesi sul mezzo indefinito terminato dalla superfice sferica IB, questo raggio, prolungato, andrà ad incontrare l'asse principale in K; si potrà dunque applicare alle distanze $BP' = p'$ ed alla distanza BK la formola (a), osservando però che, siccome il punto K è dalla medesima parte del punto luminoso, bisognerà cambiare il segno di p_1. Di più, se si trascura lo spessore della lente, BK ha lo stesso valore di AK, ed è quindi uguale a p_1. Tenendo conto di queste osservazioni si ha:

$$\frac{1}{p} - \frac{n}{p_1} = \frac{n - 1}{R'}, \qquad \text{(b)}$$

R' essendo il raggio della seconda faccia sferica. Aggiungendo membro a membro le eguaglianze (a) e (b), si ottiene:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = (n - 1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right), \qquad \text{(c)}$$

relazione che mostra come, tutti i raggi partiti dal punto P, dopo la rifrazione vanno a concorrere in P', e che permette di calcolare la posizione di uno di questi punti, quando si conosca quella dell'altro; l'indice di rifrazione n ed, i raggi R, R' delle due superfici che terminano la lente essendo noti.

Si supponga che, in questa ultima equazione, p divenga infinitamente grande, vale a dire che i raggi giungano paralleli fra loro sulla faccia della lente; in questo caso $\frac{1}{p}$ è uguale a zero e la formola diviene:

$$\frac{1}{p'} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right).$$

Ma, in questo supposo, p' è la distanza focale principale f, cosichè si ha:

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R'}\right);$$

sostituendo questo valore nella formola (c), se ne ottiene:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}, \qquad \text{(d)}$$

formola questa, affatto identica quella ottenuta per gli specchi.

735. Caso in cui il punto luminoso non si trova sull' asse principale. — Nel caso in cui il punto luminoso non si trovi sull'asse principale, ma ne sia poco

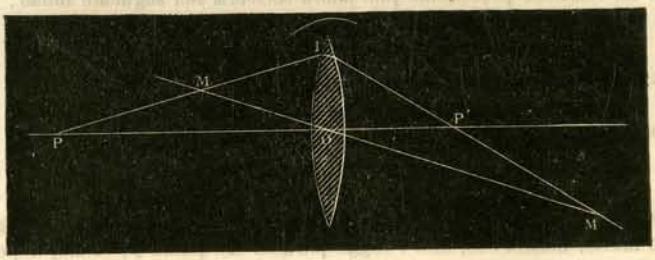


Fig. 692.

lontano (giacchè non è che in questo caso che le formole sono applicabili), è facile di mostrare che i raggi, dopo la rifrazione, concorrono in uno stesso punto.

Infatti, si tracci una retta fra il punto dato ed il centro della prima faccia; dietro i ragionamenti che hanno servito a stabilire la formola (a), si vede che, dopo la prima rifrazione, i raggi anderanno a concorrere in un punto della retta data. Congiungendo questo punto di concorso, che può venir considerato come un'altra origine dei raggi luminosi, al centro della seconda faccia della lente, se ne conclude pure che, dopo la seconda rifrazione, i raggi concorreranno in uno stesso punto di questa nuova retta. È d'altronde evidente che il punto di concorso dei raggi deve trovarsi sul cammino del raggio che non subisce deviazione, vale a dire, sull'asse secondario. Si hanno dunque dei fuochi conjugati sugli assi secondari, come li si hanno sull'asse principale, e non è difficile di mostrare, che la loro posizione relativa è determinata da una relazione identica alla relazione (d).

Sia infatti un punto M (fig. 692), situato al disopra dell'asse principale. Un certo raggio luminoso MI andrà ad incontrare l'asse secondario corrispondente ad M, nel punto M': questo sarà il fuoco conjugato dal punto M. Sieno m ed m' le distanze di questi due punti della lente. Il raggio incidente incontra l'asse principale nel punto P, ed il raggio rifratto incontra l' asse stesso nel punto P'. I

punti P e P' sono evidentemente fuochi conjugati, ai quali si può applicare la formola:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f},$$

p e p' essendo le distanze dei punti P e P' dalla lente. I lati del triangolo $M I M'$ sono incontrati dalla traversale $P O P'$, e, dietro un noto teorema di geometria, si sa che i prodotti dei tre segmenti non contigui sono uguali; si ha dunque:

$$M P . I P' . M' O = P I . M' P' . M O,$$

o, secondo le approssimazioni ammesse:

$$(p - m)\, p'\, m' = p\, (m' - p')\, m,$$

ossia:

$$m\, m'\, p' + m\, m'\, p = p\, p'\, m' + p\, p'\, m;$$

dividendo i termini di questa uguaglianza per $p\, p'\, m\, m'$, si ottiene:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{m} + \frac{1}{m'}.$$

Ma il primo membro di questa uguaglianza essendo uguale ad $\frac{1}{f}$, anche il secondo membro sarà eguale a questa quantità; per cui si può scrivere:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}.$$

Si vede dunque che la formola relativa ai fuochi conjugati posti su di un asse secondario, è la stessa di quella trovata per fuochi che si trovano sull'asse principale.

736. Discussione della formola delle lenti. — Rimane dunque dimostrato in modo generale che, in ogni caso, quando un punto luminoso si trova dinanzi ad una lente biconvessa, il cono luminoso che ha questo punto per vertice, e l'apertura della lente per base, si trova trasformato, dalla rifrazione, in un cono avente pure per base la lente, e per vertice il fuoco conjugato del punto luminoso. Questi due fuochi conjugati sono posti sullo stesso asse secondario, a distanze della lente, date dalla formola:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}.$$

Questa formola essendo affatto identica a quella degli specchi, dà origine ad una discussione analoga a quella fatta in proposito a questi, e si possono considerare i casi citati al (706).

1.° Se $p = \infty$; sarà $\frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$, e quindi, $p' = f$.

2.° Se p diminuisce, $\frac{1}{p}$ cresce; diminuisce allora $\frac{1}{p'}$, e quindi p' aumenta. Vale a dire che, se il punto luminoso si avvicina alla lente, il suo fuoco conjugato se ne allontana.

3.° Se $p = 2\, f$, si deduce dalla formola che anche $p' = 2\, f$.

4.° Se p maggiore di f, ma minore di $2\, f$; si dedurrà che $p' > 2\, f$.

5.° Se $p = f$, si avrà $\frac{1}{p'} = o$ e quindi $p' = \infty$, cioè i raggi emergeranno paralleli.

6.° Finalmente, se $p < f$, sarà $\frac{1}{p} > \frac{1}{f}$; dunque p' deve essere negativo; vale a dire che il fuoco, in questo caso, è virtuale.

737. Costruzione delle immagini. — La proprietà di ridurre ad un sol punto di concorso i raggi partenti da uno stesso punto luminoso, costituisce il principio della formazione delle immagini. Egli è chiaro, infatti, che, se l'occhio si colloca dietro alla lente al di là del punto di incrociamento dei raggi giunti dall'oggetto, per quest'occhio gli è come se i raggi ricevuti avessero per origine i fuochi conjugati dei diversi punti dell'oggetto luminoso. L'assieme,

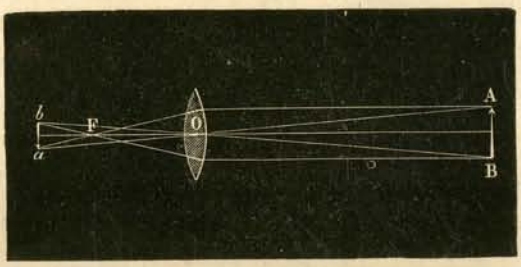


Fig. 693.

o luogo geometrico, di tali fuochi conjugati costituisce dunque, per l'occhio, un' immagine. L'immagine è *reale* e *raccoglibile* su di uno schermo, se i fuochi che la formano sono reali; è *virtuale* se questi fuochi sono essi stessi virtuali.

Si consideri il caso di un oggetto *A B* (fig. 693) posto dinanzi ad una lente, ad una distanza maggiore del doppio della distanza focale principale. Il fuoco conjugato del punto *A* si forma in *a*, ad una distanza dalla lente, più piccola del doppio della distanza fo-

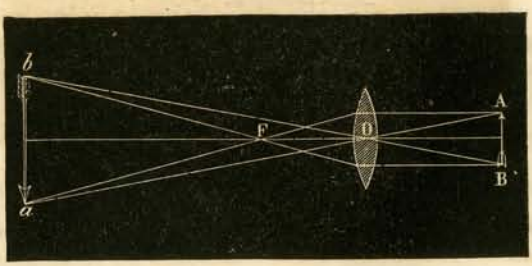


Fig. 694.

cale principale. Si può ottenerne facilmente la posizione, tracciando dal punto *A* un raggio parallelo all'asse principale; questo raggio, rifratto, passa pel fuoco principale *F* e la sua intersezione coll'asse secondario *A O*, dà appunto il punto *a*.

Si otterrebbe allo stesso modo il punto *b*, ed i diversi punti in-

termedi fra a e b. L'occhio, posto al di là di ab, riceverà i raggi come se venissero da ab, e vedrà quindi un'immagine ab, rovesciata e più piccola dell'oggetto.

È poi, evidente che se ab fosse l'oggetto, l'immagine sarebbe AB, e si troverebbe più lontana dalla lente della distanza focale principale, rovesciata rispetto all'oggetto, e più grande di questo. Questo caso è rappresentato direttamente dalla figura 694. A B è l'oggetto, posto tra il fuoco principale ed il doppio della distanza focale principale; l'immagine rovesciata ed ingrandita ab, si forma ad una distanza dalla lente, maggiore del doppio della distanza focale pricipale.

Il raporto tra la grandezza dell'immagine e quella dell'oggetto, si stabilirà, nei diversi casi particolari, per mezzo della formola fondamentale. Infatti, la somiglianza dei triangoli AOB, aOb dà:

$$\frac{AB}{ab} = \frac{p}{p'}.$$

Ma, dietro la formola generale, $p' = \frac{pf}{p-f}$; dunque:

$$\frac{AB}{ab} = \frac{p-f}{f},$$

formola nella quale basterà di porre in luogo di p il suo valore particolare, per ottenere il rapporto della grandezza dell'oggetto a quella dell'immagine.

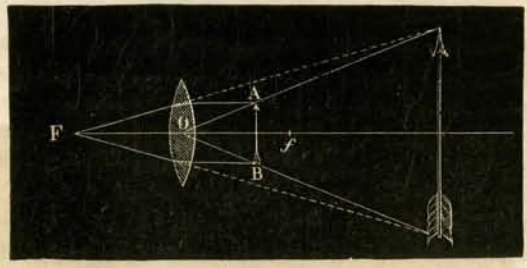


Fig. 695.

738. Immagini per projezione. — Colle lenti si può, come cogli specchi, ottenere la projezione delle immagini su di uno schermo, ponendo questo nella posizione esatta dei fuochi conjugati dell'oggetto. Le osservazioni fatte al (709) su questa spece di immagini, si possono completamente applicare anche in questo caso. Si ha diffatti nelle lenti, come negli specchi, una doppia abberrazione di sfericità, proveniente dalle due superfici della lente; la formola dei fuochi conjugati fornisce dunque, non già il punto dove concorrono *tutti* i raggi, ma solamente il punto di concorso dei raggi

centrali. Gli è, ciò nonpertanto, in questo punto che la luce è più viva e, di conseguenza, è questo il luogo dove si formano le immagini per projezione.

739. Immagini virtuali. — Si consideri, presentemente, il caso di un oggetto AB (fig. 695), posto tra il fuoco principale e la lente. I fuochi conjugati dei punti A e B sono virtuali; si possono stabilire nel modo solito, tracciando un raggio parallelo all'asse principale, raggio che, dopo la rifrazione, passa pel fuoco principale F. L'intersezione di questo raggio coll'asse secondario corrispondente, dà appunto il fuoco conjugato. I raggi sono divergenti; l'occhio, posto dietro alla lente, vedrà una immagine diritta rispetto all'oggetto, e più grande di questo. Si ha qui il principio del microscopio semplice, del quale si terrà parola più innanzi.

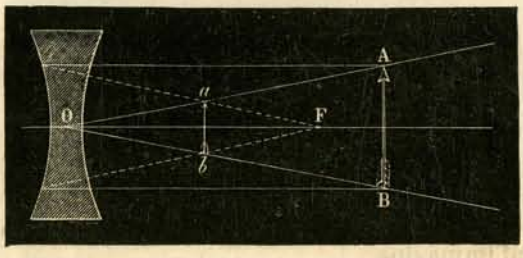


Fig. 696.

740. Lente concava. — In queste lenti i fuochi sono sempre *virtuali*. La costruzione geometrica indicata per le lenti convesse, è completamente applicabile alle lenti concave, cosichè, la costruzione delle immagini, la si ottiene esattamente alla stessa maniera.

Sia, per esempio, AB (fig. 696), un oggetto posto dinanzi ad una lente biconcava. Per ottenere il fuoco virtuale a, si traccia un raggio parallelo all'asse principale; il raggio rifratto passa pel fuoco principale virtuale F, e la sua intersezione coll'asse secondario AO, determina il punto a; il fuoco conjugato di B si ottiene, alla stessa maniera, in b.

L'occhio, posto dietro la lente, riceverà i raggi come provenissero dai diversi punti di ab, e vedrà quindi una immagine ab, dritta rispetto all'oggetto, e più piccola di questo.

La formola dei fuochi conjugati è applicabile alla lente concava, purchè si abbia l'avvertenza di cambiare il segno dei raggi. Il secondo membro $\frac{1}{f}$, riesce, pertanto, negativo, e quindi si capisce come, qualunque sia il valore di p, sarà sempre p' negativo. I fuochi saranno dunque, come si è detto, sempre virtuali.

741. Focometro di Silbermann. — Il focometro è un istrumento destinato alla misura della distanza focale delle lenti. Esso è fondato sulla proprietà dimo-

strata più sopra che, cioè, quando il punto luminoso dista dalla lente di una quantità doppia della distanza focale principale, il suo fuoco conjugato si forma pure al doppio della distanza focale principale; ne risulta che l'immagine di un'oggetto posto in tal punto, è esattamente uguale all'oggetto stesso. Gli è su questa osservazione che è fondato l'istrumento. Questo è formato da un regolo graduato, sul quale due corsoi *M* ed *M'* (fig. 697), possono scorrere con moto comune, in modo da mantenersi sempre equidistanti dalla lente *L*, della quale si vuole misurare la distanza focale principale. In *M* ed *M'* si trovano due piccoli regoli graduati, fatti di sostanza translucida, come il corno o l una sottil lamina d'avorio. Si fa variare la distanza comune dei due corsoi, finchè l'immagine delle divisioni di uno dei regoli, coincida esattamente colle divisioni dell'altro. Si ha allora la distanza focale cercata, prendendo il quarto della distanza che separa i due corsoi.

742. Lenti scaglionate. — I fuochi che si projettano sul mare da certi punti della costa, offrono un'importante applicazione delle teorie delle lenti. Il nome di *Fari* dato alle torri dalle quali si projetta lontano la luce, deriva dal fatto, che la prima costruzione di que-

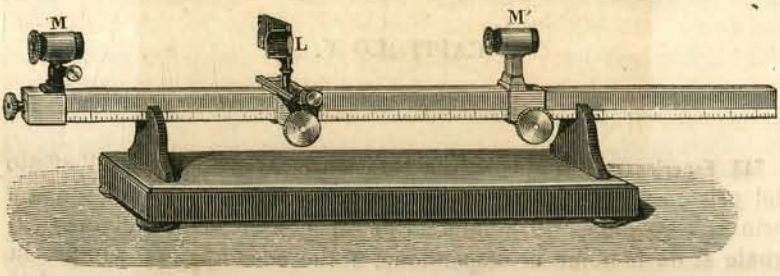


Fig. 697.

sto genere, venne stabilita nell'isola di Pharos, vicino ad Alessandria, circa trecento anni avanti l'era cristiana. I fari moderni non differiscono dagli antichi, che per la potenza, e pel modo di projezione.

Teoricamente parlando, una sola lente, di grande apertura, al fuoco principale della quale fosse collocata una sorgente luminosa assai intensa, costituirebbe un faro. Infatto, i raggi emergerebbero dalla lente formando un fascio parallelo, che potrebbe mandare la sua luce a grande distanza. Ma, quando le lenti hanno una grande apertura, sono anche di grande spessore, e questo è causa di un indebolimento della luce trasmessa. D'altra parte, si è detto che la teoria sulle lenti non si applica che ai raggi centrali. Buffon, ha pel primo, rimediato a questo doppio inconveniente, immaginando le lenti scaglionate, perfezionate poi da Fresnel. Al centro si trova una lente piano convessa, circondata da una serie di segmenti anulari concentrici, piani convessi, la di cui curvatura è tale, che i fuochi dei diversi segmenti coincidono. Ponendo al fuoco comune una

potente lampada, si ottiene un enorme fascio parallelo, visibile fino a 60 kilometri di distanza.

Nei fari, al disopra ed al disotto della lente, si trovano degli specchi piani, disposti in modo da riflettere la luce ricevuta, parallelamente all'asse principale della lente. Un movimento di orologeria imprime alla lente un moto di rotazione intorno al suo fuoco, dimodochè, i diversi punti di orizzonte si trovano successivamente rischiarati; per ciascun punto si ha dunque apparizione ed eclisse di luce, ad intervalli di tempo uguali. Nei fari di primo ordine, invece di una sola lente, si trovano otto sistemi simili, disposti a 45° gradi l'uno dell'altro, onde, invece di portare la luce sopra un solo punto, il faro possa rischiarare una gran parte dell' orizzonte.

CAPITOLO V.

DISPERSIONE. — SPETTRO.

743. Esperienza di Newton. — Al (726) si è preso in esame l' effetto del prisma sulla visione, ma non si è considerato che l'effetto proprio di rifrazione. Un fenomeno di un genere affatto diverso, al quale si dà il nome di dispersione, e che accompagna sempre la visione attraverso ai prismi, è posto in evidenza dalla seguente esperienza di Newton.

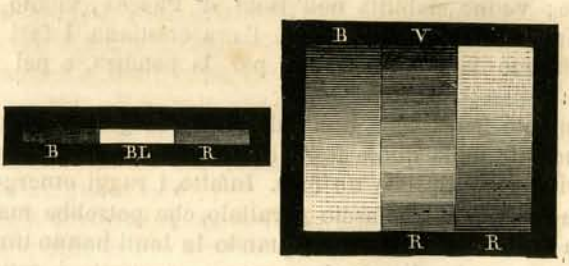


Fig. 698.

Su di una tavoletta nera si dispongono, di fianco l' uno all' altro, e su di una stessa orizzontale (fig. 698), tre listerelle strette, una bleu, l'altra bianca e la terza rossa. Per eseguire questa esperienza, bisogna scegliere dei colori assai vivi ed assai puri; i petali delle cappuccine, e di certe spece di volubili, servono assai bene allo scopo.

Se si dispone orizzontalmente lo spigolo del prisma, e si osservano le tre listerelle colorate, si scorgono le seguenti apparenze:

1.° La listerella bianca conserva la stessa larghezza orizzontale, ma riesce fortemente dilatata nel senso verticale, e presenta la forma di un rettangolo.

Questo rettangolo non è più bianco, come la listerella che lo ha originato, ma è colorato di diverse gradazioni, che passano insensibilmente dall'una all'altra; si ha ciò che dicesi *spettro*. A partire dalla regione superiore, questi colori si succedono nel seguente ordine:

Violetto, indaco, bleu, verde, giallo, ranciato, rosso.

2.° La listerella rossa dà pur luogo ad un'immagine rettangolare, delle medesime dimensioni di quelle dell'immagine bianca, ma però non vi si osserva, che in modo appena sensibile, la parte rossa. Questa è sempre sullo stesso allineamento orizzontale del rosso dell'immagine centrale, ed occupa la stessa larghezza. Sulle altre parti del rettangolo, la colorazione è poco distinta, e può essere anche nulla affatto, se si opera su certi rossi assai puri, quali si possono incontrare accidentalmente.

3.° La listerella bleu è pur sostituita da un rettangolo della stessa larghezza degli altri, nel quale però, riesce solamente sensibile la colorazione bleu, e spesso un po' di violetto, sulla stessa linea orizzontale della parte di ugual colore nell'immagine centrale. Se si adopera, per formare la listerella bleu, una porzione di petalo di certi volubili, le altre parti del rettangolo possono riescire completamente sprovviste di colorazione.

744. Conseguenze dell'esperienza di Newton. — Composizione dei colori. — Se, servendosi sempre della listerella bianca, si ripete l'esperienza precedente con liste colorate in modo qualunque, si osserva sempre una listerella di *ugual larghezza*, nella quale si trovano alcune delle diverse gradazioni dell'immagine tipo, e collocate alla stessa altezza che in quest'ultima. Non accade mai che il rettangolo superi la larghezza di quello proveniente dal bianco; non accade mai che si osservino tinte diverse da quelle presentate dal bianco stesso.

Queste esperienze stabiliscono in modo rigoroso le seguenti proposizioni:

I raggi luminosi provenienti dai diversi punti di un corpo bianco, e che camminano in un ugual direzione, non sono semplici; in fatto, essi sono la sovrapposizione di raggi diversamente rifrangibili e colorati. La rifrazione che si opera all'entrata ed alla sortita del prisma, separa questi diversi raggi, e li fa apparire col proprio colore.

Tutti i colori presentati dai corpi, sono pure composti, come lo è la luce bianca, ma non vi si trovano altri elementi diversi da

quelli che si trovano in questa; sono gli stessi raggi; solamente una parte di essi vi può far difetto; è l'azione risultante di questi diversi raggi che produce la tinta percepita dal nostro occhio; allo stesso modo che il bianco è il risultato dell'azione simultanea di tutti i raggi elementari.

745. Spettro solare. — Toltone le sorgenti luminose, i corpi non hanno luce propria; essi non sono che centri secondari messi in movimento dalla luce del sole; si è dunque condotti a pensare,

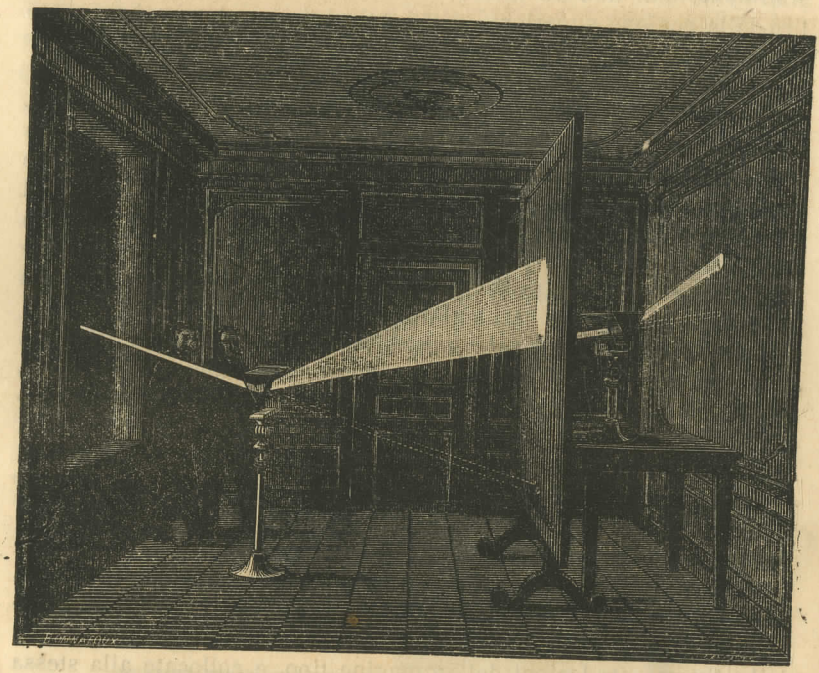


Fig. 699.

dietro le esperienze precedenti, che i diversi raggi provenienti dal sole, sono formati appunto dalla sovrapposizione di raggi di colorazione e rifrangibilità differenti. È in ciò che consiste il principio della celebre esperienza dello spettro solare. Questa si eseguisce nel seguente modo:

Si introduce in una camera oscura un fascio di luce solare, per mezzo di una stretta apertura; il fascio, ricevuto su di uno schermo, fornisce un' immagine circolare del sole. Se allora si interpone (fig. 699) sul tragitto del fascio un prisma, il di cui angolo di rifrangenza si trovi in basso, il fascio vien deviato verso la parte superiore, e dà, sullo schermo, un' immagine oblunga, terminata,

superiormente ed inferiormente, da due semicirconferenze, ed assai dilatata nel senso perpendicolare agli spigoli del prisma. Nel senso orizzontale la dimensione non è alterata, e rimane la stessa di quella dell' immagine circolare del sole. Gli è appunto a quell'immagine che si dà il nome di *spettro solare*. Essa presenta i colori sopra nominati. Nella disposizione indicata dalla figura, il violetto è alla parte superiore; è questo il colore il più rifrangibile; il rosso è il colore il meno rifrangibile, e si trova alla parte inferiore. La tavola posta al principio di questo trattato, mostra la posizione relativa di questi diversi colori.

Questa esperienza capitale mette in piena evidenza la composizione di un raggio di luce solare, e lo mostra appunto costituito da raggi elementari, di rifrangilità e colore proprio; questi raggi, sovrapposti secondo una stessa direzione, formano un raggio di luce bianca.

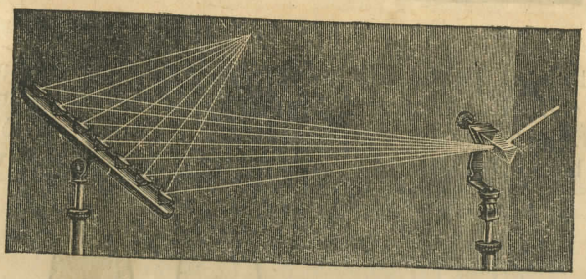


Fig. 700.

L'esistenza di questi raggi elementari è resa sensibile dall' esperienza seguente. Nella parte dello spettro corrispondente ad un colore determinato, al rosso, per esempio, si pratica una piccola apertura nello schermo, la quale lascia passare un fascio, sul tragitto del quale si pone un'altro prisma. Si produce una seconda rifrazione, una dilatazione minore della precedente, e si ottiene, su di un secondo schermo, uno spettro monocromatico, sul quale si può sperimentare allo stesso modo. Si ottengono così dei fasci di meno in meno dilatati e che si avvicinano sempre più ad un raggio di colore e di rifrangibilità semplice.

746. Ricomposizione della luce bianca. — La teoria della composizione della luce, è confermata dalla ricomposizione della luce bianca, col riunire i diversi raggi colorati dello spettro. Si può effettuare questa ricomposizione in diversi modi.

1.° Si riceve il fascio spettrale, sortente dal prisma, sopra sette piccoli specchi piani (fig. 700), su ciascuno dei quali cade la porzione di spettro, presso a poco, corrispondente ad un colore de-

terminato; si dà agli specchi una inclinazione tale, che i fasci riflessi vengano a concorrere in uno stesso punto. Se in questo punto si pone uno schermo, si ottiene una macchia bianca.

2.° Il fascio, al suo uscire dal prima, vien ricevuto su di una lente convergente (fig. 701); i diversi raggi colorati sono riconcen-

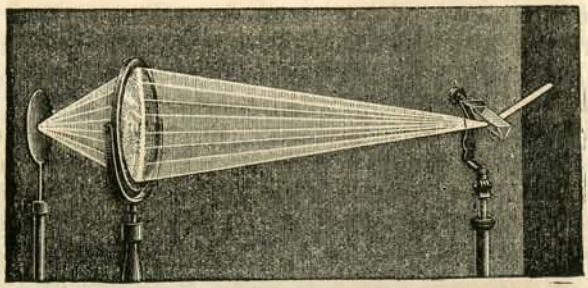


Fig. 701.

trati dalla lente, e vengono a concorrere, presso a poco, in un punto, dove si colloca uno schermo; su questo si forma un'immagine bianca. È da osservarsi però, che questa immagine non è completamente bianca, fuorchè nelle parti centrali; ai lembi la sovrapposi-

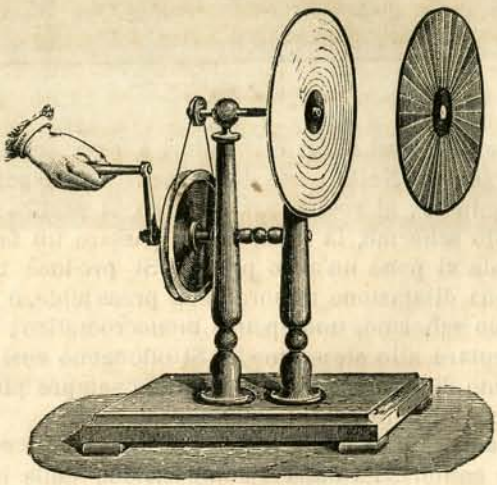


Fig. 702.

zione dei diversi colori non è completa, e vi nascono dei contorni colorati.

3.° Sopra un disco di vetro si dipingono dei settori, colorati colle diverse gradazioni dello spettro, e di estensione relativa, presso a poco, uguale a quella dei colori corrispondenti nello spettro stesso.

Se, per mezzo di un piccolo bottone, di una ruota, e di una corda di trasmissione (fig. 702), si inprime al disco un movimento abbastanza rapido; le sensazioni luminose dei diversi colori si sovrappongono, e si percepisce il disco con una tinta bianca. Si può, per rendere l'esperienza più evidente, projettare, per mezzo di una lente, il disco colorato su di uno schemo bianco; collocando opportunamente la lente si ottiene un'immagine assai netta del disco; ma al momento della rotazione si scorge un'immagine completamente bianca.

747. Composizione dei colori. — Colori complementari — Nel secondo processo di ricomposizione della luce bianca, se si intercetta, con uno schermo, una porzione del fascio prismatico, l'immagine formata dalla lente, prende una tinta, che è la risultante dei colori non intercettati. Se dopo di avere intercettata una porzione del fascio ed ottenuta un'immagine di una certa tinta, si intercetta l'altra porzione, lasciando passare la prima, si ottiene un' immagine di un'altra tinta.

Queste due tinte, riunite, formano, evidentemente il bianco. I colori che presentano questa propietà diconsi *complementari*.

Si possono variare le esperienze di questo genere, facendo uso di schermi forati da diverse aperture, in modo da lasciare passare quella parte di spettro che si vuole; si ottengono così dei colori composti, dei quali, qualcuno può assomigliare ad uno dei colori dello spettro. Così, lasciando passare del giallo e del bleu, si ottiene il verde; il violetto si può ottenere col miscuglio del bleu e del rosso, ecc. Ma questi colori differiscono da quelli dello spettro per la loro composizione; guardandoli attraverso ad un prisma si separano le tinte elementari di cui sono formati. La tavola seguente, data dal signor Helmoltz, fa conoscere il risultato della combinazione, due a due, dei cinque colori elementari i più netti dello spettro.

	Rosso	Giallo	Verde	Bleu	Violetto
Rosso	Rosso	Ranciato	Giallo sporco	Rosa	Porpora
Giallo	Ranciato	Giallo	Verde giallastro	Bianco	Rosa
Verde	Giallo sporco	Verde giallastro	Verde	Verde — bleu	Bleu pallido
Bleu	Rosa	Bianco	Verde — bleu	Bleu	Indaco
Violetto	Porpora	Rosa	Bleu pallido	Indaco	Violetto

Nella natura si trovano raramente dei colori semplici, vale a dire, dei colori, che visti attraverso al prisma, dieno uno spettro monocromatico. Ciò accade ciononpertanto, qualche volta, e gli è appunto con colori di questo genere, che conviene di eseguire l'esperienza descritta (743).

748. Colori propri dei corpi. — Le precedenti spiegazioni permettono di rendersi conto, con precisione, delle cause fisiche del colore dei corpi. Il colore non è, in vero dire, proprietà dei corpi, bensì della luce. In una camera completamente oscura, non si osservano colori. Ora, la luce, almeno quando essa emana dal sole, o dalla maggior parte delle luci utilizzate nella industria e nell'economia domestica, contiene tutti i colori dello spettro. Se le molecole dei corpi scosse da ciascun dei raggi luminosi, rimandano all'occhio tutti questi raggi, senza alterarli, o facendo subire a ciascuno di essi, una ugual perdita, la sensazione che ne risulta è il *bianco*. Ma ciò non accade generalmente; qualcheduna delle radiazioni vien assorbita in proporzione più forte delle altri; gli è allora come se, nel fascio uscente dal prisma, si intercettasse un certo numero di raggi, e l'occhio ricevesse l'impressione della tinta risultante dei raggi che riceve. Un corpo che assorbisse tutte le radiazioni, non rimanderebbe luce all'occhio; esso riescirebbe invisibile, *nero*.

749. Colorazione per trasparenza. — La colorazione per trasparenza, quella, per esempio, dei vetri colorati, ammette una causa analoga. Questi corpi si lasciano penetrare, senza estinguerli, dalle diverse speci di raggi, con una facilità variabile da una spece ad un'altra. Quando dunque un fascio di luce bianca li attraversa, i differenti raggi provano delle perdite disuguali nel progredire nel loro cammino; il fascio emergente non contiene più gli elementi costitutivi della luce bianca, riesce colorato.

Questa circostanza può dar luogo ad un fenomeno assai curioso, ma assai facile da spiegarsi, detto *dicroismo*. Consiste esso nella proprietà presentata da certi corpi, di offrire colori assai distinti, a seconda che li si osservano sotto uno spessore più o meno grande. Così, se si versa in un bicchiere conico una dissoluzione di cloruro di cromo, la parte inferiore, dove lo spessore è minore, sembrerà verde, mentre la parte superiore presenta un colore bruno, passante al rosso. La tintura di tornasole presenta un fenomeno analogo; bleu sotto uno spessore un po' significante, si presenta di color rosso violaceo, quando sia in lamine sottili. In fatto, tutte le sostanze trasparenti sono dicroiche, vale a dire, che il loro colore varia collo spessore; ma si osservano raramente delle modificazioni tanto spiccate, come nei casi citati; generalmente si osserva una variazione di intensità nella colorazione, piuttosto che nel colore stesso.

La spiegazione del dicroismo si trova nel disuguale assorbimento dei raggi elementari colorati. Si supponga, per esempio, che una certa sostanza assorba assai rapidamente tutti i colori, tranne il rosso ed il verde, e che, di più, questo ultimo colore venga più energicamente assorbito del rosso. Finchè lo spessore attraversato sarà piccolo, la forza dei raggi verdi maschererà l'effetto del rosso, ed il corpo sembrerà verde; ma, dopo di aver attraversato uno spessore un po' grande, i raggi verdi avranno subìto una perdita assai notevole, in confronto a quella subìta dai raggi rossi, ed il corpo dovrà sembrare rosso.

750. Spettri delle luci artificiali. — Le luci artificiali danno uno spettro analogo allo spettro solare, ma però non assolutamente identico; così, per esempio, i raggi gialli vi entrano in quantità più notevole. Gli è perciò che, illuminati da queste luci, è facile di confondere certi bleu, di giorno, col verde; appunto perchè aggiungendo del giallo al bleu, si ottiene il verde.

Si possono comporre delle sorgenti artificiali, il di cui spettro riesca assai diverso dallo spettro solare. Veduti sotto queste luci, i colori dei corpi appajono assai alterati. Si può persino giungere, facendo uso di diverse sostanze minerali, ad ottenere dei fuochi non contenenti che un solo colore; così, i fuochi rossi si ottengono coi sali di stronzio, i fuochi gialli colla soda, ecc.; tutti i corpi rischiarati da questi fuochi, presentano il colore dei fuoco rischiarante, solamente l'intensità vien modificata dalla natura propria della loro superfice.

751. Acromatismo. — La composizione della luce bianca, e quindi quella delle diverse luci fornite dai corpi, dà luogo ad una conseguenza delle più dannose, relativamente alle lenti. La distanza focale di una lente dipende dall'indice di rifrazione della sostanza di cui essa è formata; ma questo indice è differente a seconda che si tratti di un colore piuttosto che di un altro. Così, il fuoco dei raggi violetti deve formarsi più vicino alla lente, che non il fuoco dei raggi rossi, giacchè maggiore è la loro rifrangibilità. Quando, per conseguenza, si farà uso di una lente convergente, in uno strumento d'ottica, onde ottenere l'immagine di un oggetto, si avrà, in fatto, una infinità di immagini, corrispondenti a ciascuno dei raggi elementari provenienti dall'oggetto. Queste diverse immagini, esaminate con un sistema ottico qualunque, si sovrappongono nella maggior parte della loro estensione, e, per conseguenza, in questi punti la tinta dell'oggetto non vi riesce alterata. Ma, sui lembi, questa sovrapposizione non è completa; ne nasce, che certe immagini colorate sporgono sulle altre, e danno luogo a contorni colorati od irisati. Queste aureole costituiscono uno dei difetti i più gravi, ed è intollerabile negli istrumenti d'ottica. Sono infatti i con-

torni degli oggetti, qualunque questi sieno, che si esaminano, che gli è esenziale di ben vedere; giacchè, è solamente da essi che si può giudicare delle loro dimensioni. Perciò si è procurato, con metodi appropriati, di far scomparire questa grave imperfezione, che costituisce l'*aberrazione di rifrangibilità*. Gli istrumenti e le lenti che ne vanno esenti diconsi *acromatici*.

752. Possibilità dell'acromatismo. — Per molto tempo si era supposto che fosse impossibile di ottenere l'acromatismo, e sembra che Newton fosse pure di tale opinione. Si faceva fondamento sul fatto, che la espansione del fascio essendo una conseguenza necessaria della rifrazione, non si sarebbe potuto farla scomparire, senza far scomparire la rifrazione stessa; ma allora, se non si ha rifrazione, non si hanno nemmeno istrumenti d'ottica, giacchè questi utilizzano le immagini prodotte dalla rifrazione.

Questo ragionamento è erroneo. Infatti, l'azione di un prisma sul fascio luminoso ha due risultati; quello di rinfrangerlo, e quello di dilatarlo. Il secondo dei due fenomeni porta particolarmente il nome di *dispersione;* numericamente vien definito come *la differenza tra l'indice di rifrazione dei raggi violetti, e quello dei raggi rossi.* Ora, gli è vero che la dispersione è una conseguenza della rifrazione, ma i due fenomeni non sono, in quanto alla loro intensità, proporzionali l'uno all'altro. Così, in una sostanza, la rifrazione media può riescire maggiore che in un'altra, e la dispersione più piccola, o viceversa.

Da ciò risulta che, se in seguito ad un prisma attraversato da un fascio luminoso, si colloca, in senso inverso, un'altro prisma di sostanza differente, pel quale la dispersione riesca maggiore, si potranno ricondurre al parallelismo i raggi rossi ed i violetti, per esempio, senza perciò distruggere completamente l'effetto della primitiva rifrazione. Si avrà dunque un sistema di due prismi, che produrrà deviazione, e non colorazione. Questo piccolo apparecchio si trova in tutti i gabinetti di fisica. Il primo prisma è in *crown-glass*, vetro d'ottica analogo al vetro ordinario, l'altro è in flint-glass, analogo al cristallo (1).

753. Lenti acromatiche. — Con una disposizione analoga si possono rendere acromatiche le lenti. Le prime lenti acromatiche vennero costruite dall'ottico inglese Dollond, verso il 1757 Esse sono formate da una lente convergente in crown, alla quale è unita una lente divergente in flint. Se le due lenti sono convenientemente scelte, il loro assieme conserva ancora le proprietà delle lenti convergenti, e può fornire un'immagine reale degli oggetti, vista per

(1) Il crown-glass è una spece di silicato di potassa e di calce; nel flint-glass, che è più dispersivo, una parte della calce è rimpiazzata coll'ossido di piombo.

trasparenza; ma i raggi diversamente colorati non sono più separati gli uni dagli altri, e l'immagine non presenta le frangie colorate.

Pei prismi, la condizione di acromatismo si è che gli angoli di rifrangenza sieno inversamente proporzionali al potere dispersivo delle sostanze di cui son fatti. In quanto alle lenti, dal calcolo si deduce che, in una lente acromatica, il rapporto dei poteri dispersivi, è uguale al rapporto delle distanze focali delle due lenti. Si noti poi che, quando si sieno riuniti i raggi violetti ed i rossi, non si sono riuniti gli altri, e non si ottiene quindi l'acromatismo assoluto: conviene dunque limitarsi alla parte dello spettro che è più conveniente di acromatizzare. La determinazione a priori dell'acromatismo delle lenti è assai complessa, ed i costruttori si limitano, generalmente, a riprodurre i modelli, ai quali si è giunti con tentativi empirici.

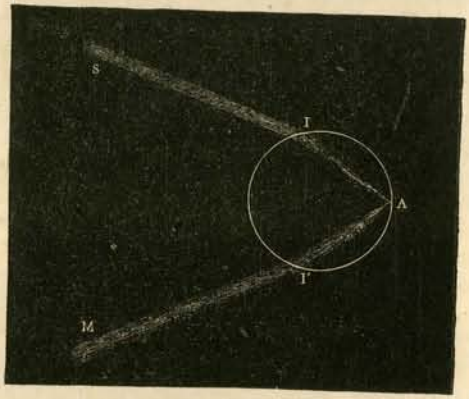


Fig. 703.

754. Arcobaleno. — La disuguale rifrangibilità dei raggi diversamente colorati, ha permesso a Newton di dare una teoria completa dell'arcobaleno, e di confermarla con misure dirette. È noto che questo magnifico fenomeno si osserva allorquando delle nubi si risolvono in pioggia, in una regione di cielo opposta a quella occupata dal sole. L'osservatore, collocato di faccia alla nube, vede due archi concentrici, e presentanti i colori dello spettro solare. Nell'arco interno, che è generalmente il più brillante, il rosso è in alto ed il violetto in basso; accade l'opposto nell'arco esterno.

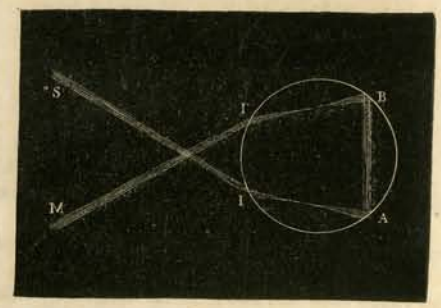


Fig. 704.

L'arcobaleno si osserva pure sulle cascate rischiarate dal sole, di fianco ai getti d'aqua ed, in generale, in tutte quelle circostanze dove si produce una grande polverizzazione del liquido.

Siccome il fenomeno suppone la presenza del Sole, e non si può esserne testimoni che allorquando si volge il dorso all'astro, si deve necessariamente attribuirlo a raggi solari che, penetrantio in una gocciola d'aqua, vi subiscono una o più riflessioni interne, e ritornano all'occhio dell'osservatore. La figura 703 rappresenta un fascio *S I*, che subisce una riflessione in *A*, ed emerge secondo *I' M*. La figura 704 corrisponde al caso in cui il fascio subisce due riflessioni in *A* ed in *B*. Ora, dopo le

riflessioni interne, le rifrazioni all'entrare ed all'uscire, i raggi formanti un fascio parallelo in *I*, cessano d'esser paralleli all'uscita in *I'*; essi formano allora un fascio divergente, e si disseminano nello spazio secondo direzioni qualsiansi, tali da non dar luogo ad alcuna sensazione precisa e determinata. Ciò è vero, almeno per la maggior parte dei fasci; ve n'è qualcuno, però, che sfugge a questa conclusione: son quelli che cadono sulla gocciola con un' incidenza tale, che la deviazione abbia un valor minimo. Le variazioni in vicinanza di qualunque valore estremo, essendo naturalmente assai piccole, un piccolo fascio parallelo *S I*, formerà pure all' uscita un fascio parallelo *I M*. I raggi presentanti questa particolarità, vengon detti *raggi efficaci*.

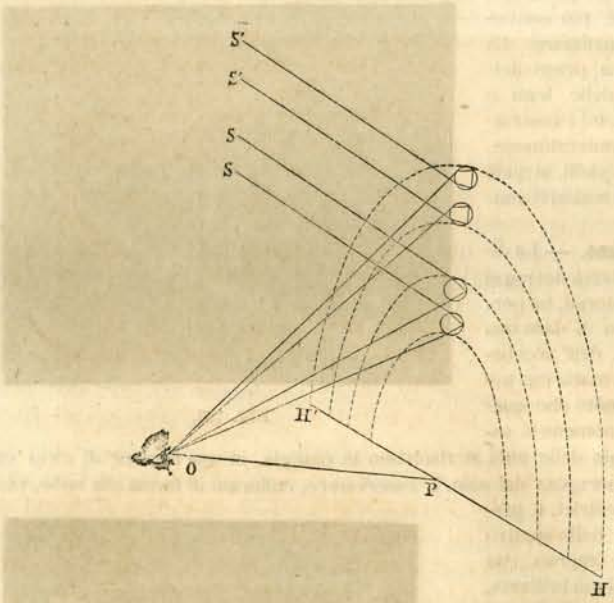


Fig. 705.

L'angolo che corrisponde all'efficacità dipende, naturalmente, dall'indice i rifrazione; nel caso di una riflessione unica, questo angolo è dato dalla formola $\cos i = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}}$. Se si pone in luogo di n il valore $\frac{108}{81}$ che è l'indice dei raggi rossi nell'aqua, se ne deduce $i = 59.^\circ\ 22'$, e la deviazione corrispondente è di $42.^\circ\ 2'$. Da ciò consegue che, tutte le gocciole situate sulla superfice di un cono, il di cui asse passi pel sole e per l' occhio *O* dell' osservatore (fig. 705), e pel quale il mezzo angolo è uguale a $42.^\circ\ 2'$, invieranno a questo osservatore dei raggi rossi efficaci, e disegneranno per lui, sul cielo, un'arco luminoso rosso. Se nella formola si sostituisce ad n l' indice dei raggi violetti $\frac{109}{81}$, si trova $i = 58.^\circ$, ciò che corrisponde ad una deviazione di $40.^\circ\ 17'$. Il cono che avesse l'asse precedentemente indicato, ed una semi apertura di $40.^\circ\ 17'$, deve

dunque formare in cielo un arco, i di cui punti devono inviare all'osservatore della luce violetta. Fra questi due archi si troveranno gli archi corrispondenti agli altri colori dello spettro; si ha dunque un arco della larghezza di 42°, 2′ — 40°. 17′ = 1°. 45′. È questo l'arco interno, nel quale il rosso è, evidentemente, all'esterno, ed il violetto all'interno dell'arco.

Nel caso delle due riflessioni, la formola che fornisce l'efficacità è $\cos i = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{8}}$. Pei raggi rossi i riesce uguale a 71°. 50′, per una deviazione di 50°. 58′. L'incidenza pei raggi violetti è 71°. 26′, e la deviazione corrispondente 54°. 9′; se ne conclude l'esistenza di un arco di 54°. 9′ — 50°. 58′ = 3°. 11 di larghezza, nel quale il violetto è all'esterno; i due archi sono separati da un arco di 50.° 58′ — 42°. 2′ = 8°. 56′. Questi diversi numeri vennero confermati da misure dirette.

Supponendo un maggior numero di riflessioni, si otterrebbe la posizione di altri archi; ma, finora, non vennero osservati. Il calcolo mostra che il terzo ed il quarto arco sono situati tra l'osservatore ed il sole, e non possono quindi a meno di rimaner soffocati nella luce solare. Il quinto, posto dalla parte opposta al sole, si dice sia stato osservato qualche volta nelle cascate.

Facendo cadere, in una camera oscura, dei raggi solari su di un getto d'aqua, si è potuto osservare fino al diciasettesimo arco, e verificare le conclusioni della teoria di Newton.

755. Mezzi per ottenere uno spettro puro. — Lo spettro solare, ottenuto nelle condizioni ordinarie, è, in fatto, il risultato della sovrapposizione di diverse immagini circolari del sole, delle quali, ciascuna corrisponde ad un colore, e ad una refrangibilità determinate.

Si è cercato di isolare, per quanto è possibile, nello spettro, le parti dovute a ciascuna delle parti costituenti. A tale scopo si son diminuite le dimensioni dell'apertura dalla quale penetra il fascio solare, facendo uso di una fessura assai stretta, e parallela agli spigoli del prisma. Il fascio, alla sua uscita dal prisma, vien raccolto su di una lente acromatica. Questa riduce a convergere dei raggi divergenti che, passando per un punto dell'apertura, andrebbero a formare, dopo la rifrazione attraverso al prisma, una immagine colorata del sole. Si produrrà dunque, sopra uno schermo convenientemente collocato, una serie di immagini dell'apertura, in numero tale, quanti sono i raggi diversamente colorati. Queste immagini si sovrappongono ancora parzialmente, ma tanto meno, quanto più la fessura è stretta, dimodochè, riducendo quest'ultima al minimo possibile, si potrà ottenere uno spettro di una notevole purezza. Invece di osservare direttamente lo spettro su di uno schermo, si potrebbe guardarlo con un microscopio semplice; ma si può anche sopprimere lo schermo, ed osservare l'immagine aerea. Ora, la riunione della lente acromatica e del microscopio costituisce un canocchiale astronomico. Il processo precedente con-

siste dunque nel ricevere il fascio, alla sortitta del prisma, sull'obbiettivo di un cannocchiale, e ad osservare lo spettro nell'oculare del cannocchiale stesso. È in questo modo che operava Fraunhofer, celebre ottico di Monaco.

756. Righe dello spettro. — Gli è appunto coll'impiego di questo metodo che Fraunhofer, verso il 1815, fece una scoperta delle più importanti. Avendo egli esaminato lo spettro ottenuto con un prisma di flint assai puro, constatò che esso era solcato, in tutta la sua estensione, da sottili righe nere, parallele fra loro, e ripartite in modo irrego-

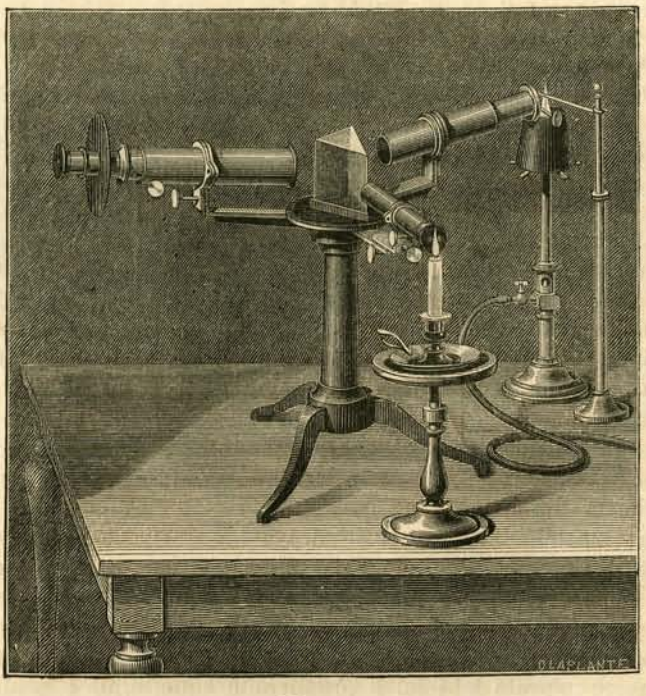


Fig. 706.

lare. Egli contò più di 600 di queste righe, e ne disegnò 354 su di una figura dello spettro, che è divenuta classica. Queste righe, avendo una posizione invariabile, costituiscono dei punti di riscontro esatti, per la determinazione degli indici dei diversi colori.

Nella figura 1 della tavola posta in principio al libro, sono rappresentati i gruppi principali e caratteristici delle diverse regioni, insieme alle lettere che servono a designarli.

757. Spettroscopio. — Il metodo di esplorazione dello spettro ha ricevuto un perfezionamento importante, consistente nel sostituire

alla fessura praticata nella parete di una camera oscura, un collimatore, vale a dire una fessura posta al fuoco principale di una lente; in questo modo i raggi sembrano giungere da una fessura infinitamente lontana. Il grande vantaggio di questa disposizione consiste in ciò che, il collimatore essendo rinchiuso in un tubo, l'apparecchio di osservazione riesce portativo, e puossi installare dove meglio aggrada; si ha così l'istrumento conosciuto col nome di *spettroscopio*.

La figura 706 rappresenta uno spettroscopio ad un solo prisma. Esso è composto da un supporto, sul quale è collocato un prisma, ricoperto di un cappello, che venne ommesso nella figura. Il cappello presenta tre aperture, verso le quali son diretti tre corpi di cannocchiale. Uno di questi appartiene al cannocchiale di osservazione dello spettro; l'altro corpo contiene il collimatore, e termina all'esterno con una finestrella stretta, posta al fuoco principale di una lente. Il terzo corpo, presenta, alla sua estremità, un micrometro graduato, rischiarato da una candela, e, nel suo interno, una lente destinata a fornire l'immagine del micrometro. Questa immagine è rimandata, per riflessione, nel cannocchiale. Da queste disposizioni risulta che, se si pone una fiamma dinanzi alla finestrella del collimatore, l'osservatore che guarda attraverso all'oculare, vedrà lo spettro della fiamma e, projettato su questo spettro, l'immagine del micrometro, il quale permetterà di fissare la posizione esatta delle righe. La figura rappresenta uno spettroscopio ad un sol prisma; si può aumentarne di molto la potenza dispersiva, associando parecchi prismi.

758. Diverse radiazioni dello spettro. — Lo spettro solare è formato da radiazioni luminose, il di cui splendore è variabile da un punto all'altro. Gli è fra le righe *D* ed *E*, vale a dire verso il mezzo del giallo, che si ha il massimo splendore.

Esplorando lo spettro con un piccolo termometro assai sensibile, o con una pila termoelettrica, si trova che l'elevazione di temperatura, sensibile in tutta l'estensione visibile, lo è ancora assai oltre il rosso. Il massimo di temperatura osservato con un prisma di sal gemma, si trova pure oltre il limite dello spettro visibile, ad una piccola distanza dall'estremo rosso.

Indipendentemente dallo spettro calorifico, si ha pure uno spettro chimico; gli è infatti l'azione chimica della luce che forma la base della fotografia. Quando, coi processi ordinari, si fa una prova fotografica dello spettro, si osserva che l'azione si estende solamente fino al rosso; le radiazioni di questo colore non sembrano dunque proprie ad eccitare i fenomeni chimici. Ma questa azione chimica esiste invece in radiazioni che vanno molto oltre il violetto. Quando si prendono tutte le precauzioni necessarie per avere uno spettro

puro, la prova fotografica presenta le righe di Fraunhofer nella parte luminosa; si trovano pure delle righe nell' immagine dello spettro ultravioletto; i gruppi principali di queste righe vennero indicati colle lettere *H*, *L*, *M*, *N*, *O*, *P*, che fanno seguito a quelle che vennero assunte da Fraunhofer.

759. Radiazioni fosforogeniche. — Esistono sostanze che, dopo una breve esposizione alla luce solare, godono della proprietà di presentarsi luminosi durante un tempo più o meno lungo, senza che la

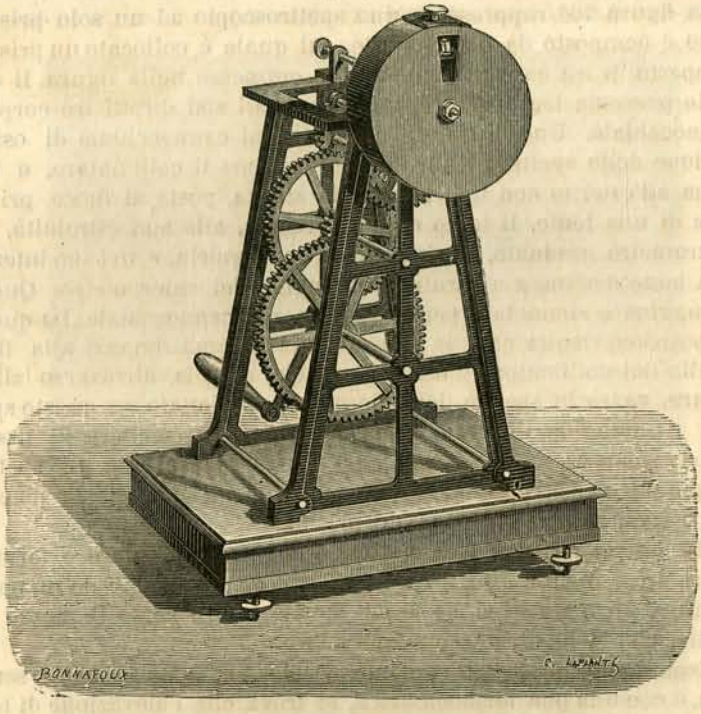


Fig. 707.

loro temperatura si elevi in modo notevole. Queste sostanze portano il nome di fosforoscenti. Il solfuro di calcio (fosforo di Canton), il solfuro di Bario (fosforo di Bologna), ecc., sono conosciuti da molto tempo per tale proprietà da loro posseduta.

Tutte le radiazioni dello spettro non sembrano proprie a sviluppare la fosforescenza; è facile di constatare che questa proprietà risiede più facilmente nei raggi ultravioletti.

La fosforescenza è una proprietà assai più frequente di quanto lo farebbero supporre le osservazioni usuali; ciò deriva del fatto che, in un gran numero di corpi, la fosforescenza non dura che per qualche istante, dopo cessata la insolazione.

Il signor Edmondo Becquerel ha reso noto, sotto il nome di *fosforoscopio*, un'istrumento assai ingegnoso, per mezzo del quale si può constatare la fosforescenza, anche quando essa ha una brevissima durata. Esso è formato (fig. 707 e 708) da due dischi, forati da quattro aperture, disposte perpendicolarmente l'una all'altra; queste aperture, nei due dischi, non si corrispondono, ma, di contro al vano di uno dei dischi, si trova uno spazio pieno dell'altro. I due dischi sono montati sullo stesso albero, e possono ricevere una velocità assai grande, per mezzo di un opportuno roteggio.

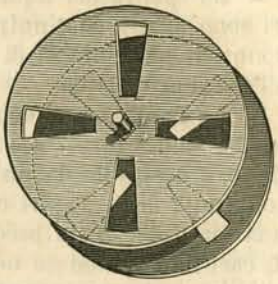


Fig. 708.

Il corpo del quale si vuol studiare la fosforescenza, vien collocato fra i due dischi, in una posizione invariabile. L'apparecchio, posto in una camera oscura, lo si dispone di contro ad un'imposta, dalla quale si lascia entrare un fascio solare all'altezza del punto dove si trova il corpo; l'osservatore si pone dal lato opposto, dietro uno schermo, presentante un'apertura, alla stessa altezza. Quando il fascio cade sul corpo, passa per una delle aperture del disco, e viene intercettato in seguito dalla parte piena successiva. In causa della rotazione, il corpo può esser veduto dall'osservatore, giacchè, un vano del secondo disco viene a presentarglisi innanzi; ma allora il corpo non riceve luce, e, se è visibile, ciò devesi alla sua fosforescenza. Si riconosce in questo modo, che quasi tutti i corpi sono fosforescenti; solamente, per qualcuno, la fosforescenza non dura più di $\frac{1}{10000}$ di secondo.

La fluorescenza, della quale si è parlato al (614) è una fosforescenza che cessa al momento in cui cessa la luce. Così, se, nella parte ultravioletta dello spettro, si tracciano dei tratti con solfato di quinina, essi divengono brillanti e visibili. Impregnando la totalità del campo ultravioletto col solfato di quinina, si renderà tutto lo spettro visibile, salvo certe linee, che sono appunto le righe dello spettro ultravioletto.

760. Diverse sorta di spettri. — Studiando allo spettroscopio gli spettri di diversa origine, si fu condotti a classificarli secondo i seguenti tipi:

1.° Lo spettro solare di Fraunhofer, caratterizzato dalle righe nere. Lo spettro della luna e dei pianeti presenta le stesse righe caratteristiche, ciò che è affatto naturale, giacchè questi corpi non fanno che riflettere la luce solare. Lo spettro delle stelle presenta

pure delle righe nere, ma disposte diversamente che nello spettro della luce solare.

2.° Lo spettro dei liquidi e dei solidi incandescenti. Questi spettri sono affatto continui; ciò indica che queste sorgenti contengono i raggi luminosi di tutte le rinfrangibilità, dall'estremo rosso, all'estremo violetto.

3.° Le fiamme non contenenti in sospensione alcuna particella solida, vale a dire i gas incandescenti, danno uno spettro discontinuo, e costituito da un numero limitato di righe luminose. La continuità degli spettri ottenuti colla fiamma di una candela, di una lampada, di un becco a gas, devesi unicamente alle particelle di carbonio contenute nella fiamma, che danno lo spettro continuo del carbonio incandescente. Se però, nel becco di gas, si fa giungere un' eccesso d' aria, la decomposizione del combustibile non ha più luogo; non si hanno più particelle sospese nella fiamma, e lo spettro diviene discontinuo. Questa luce speciale del gas che brucia con un'eccesso di aria, porta il nome di *luce di Bunsen.*

4.° Lo spettro dell' arco voltaico; è formato da un gran numero di righe brillanti, alle quali vengono a sovrapporsi quelle che caratterizzano la natura degli elettrodi volatilizzantisi sotto l'azione del calore prodotto.

In un gas assai rarefatto, la scintilla del rocchello dà uno spettro discontinuo, la disposizione propria del quale, caratterizza il gas stesso.

761. Analisi spettrale. — Nella lampada a gas, posta dinanzi al collimatore, si fa bruciare il gas con un eccesso d'aria; si ottiene in tal modo uno spettro appena visibile. Se allora, per mezzo di un filo di platino, portato da un piccolo supporto, si introduce nella fiamma una piccola quantità di un sale metallico, questo si volatilizza nella fiamma, e si vedono tosto comparire delle righe brillanti caratteristiche, che definiscono la natura propria della sostanza. La tavola cromolitografica citata, rappresenta, sotto lo spettro di Fraunhofer, gli spettri dei diversi metalli, quello del fosforo, dell' idrogeno, ecc., in modo da poter stabilire la corrispondenza delle diverse righe.

La presenza di queste righe caratteristiche delle diverse sostanze, venne segnalata da molto tempo, ma non è che assai recentemente che, in seguito ad un importante lavoro di Bunsen e di Kirchhoff, se ne è tratto partito per l' analisi qualitativa. Questo processo è di una sensibilità estrema, e, quantunque conosciuto da poco tempo, ha già dato luogo alla scoperta di quattro nuovi metalli: il *cesio*, il *rubidio*, il *tallio* e l'*indio.*

762. Rovesciamento delle righe. — Analisi chimica dell'atmosfera solare. — Può sembrare singolare che, mentre i solidi ed i liquidi incandi-

scenti alla superfice del globo, danno uno spettro continuo, contenente tutti i raggi possibili, lo spettro solare presenti delle soluzioni di continuità, accusanti l' assenza di certi raggi. È naturale di pensare, e questa ipotesi venne posta da molto tempo, che questa assenza abbia per causa un assorbimento. Ma dove ed in quali circostanze si produce questo assorbimento? È quanto, fino ai lavori dei signori Bunsen e Kirchhoff, fu impossibile di stabilire in modo razionale. Un'osservazione eseguita per la prima volta da Foucault, e ripetuta in seguito in modo generale, dagli osservatori sopra citati, permette di stabilire una teoria plausibile.

Se si fa passare attraverso ad una fiamma che fornisce uno spettro metallico a righe luminose brillanti, la luce di un solido incandescente a spettro continuo, si vede, nello spettro di quest' ultimo, cambiarsi alcune righe brillanti in righe oscure. In altri termini, una fiamma che emette per proprio conto dei raggi di una data refrangibilità, è capace di assorbire questi stessi raggi, provenienti da un'altra sorgente. Di qui l'origine delle righe di Fraunhofer sembra evidente. Si può, infatti, supporre che il nucleo solare sia formato da un solido, o da un liquido, incandescente, che darebbe uno spettro continuo; ma, alcune di queste radiazioni vengono assorbite dall' atmosfera solare, e da ciò provengono le righe nere dello spettro.

Si possono spingere oltre le deduzioni. Se si constata, per esempio, che certe righe brillanti degli spettri metallici sono in coincidenza esatta con certe righe nere determinate da Fraunhofer, se ne dovrà concludere che gli è al vapore di questo metallo che si deve l'assorbimento, e che, per conseguenza, questo metallo esiste allo stato di vapore nell'atmosfera solare, e fa quindi parte della costituzione chimica del sole.

Dalle esperienze eseguite finora, si può concludere che si trovano nel sole le seguenti sostanze: *potassio, sodio, calcio, bario, magnesio, zinco, ferro, cromo, cobalto, nichelio, rame.*

Si aggiunga che, nell' eclisse totale di sole del 18 agosto 1868, si è potuto fare lo studio spettrale delle pretuberanze, e si è trovato che queste davano origine ad uno spettro discontinuo; fatto questo che stabilisce la loro natura gasosa. Si è di più trovato, che tre delle righe date, sono precisamente quelle dell' idrogeno; ciò dà una certa consistenza all'ipotesi, che questo gas entri nella composizione delle pretuberanze e dell'atmosfera solare.

CAPITOLO VI.

VISIONE ED ISTRUMENTI D'OTTICA.

763. Descrizione dell'occhio. — L'occhio dell'uomo è formato da un globo pressochè sferico, incassato nelle cavità orbitali. L'invoglio esterno *H* (fig. 709), è formato da una membrana opaca e resistente, detta *schlerotica* o *cornea opaca*. Alla parte anteriore, una porzione *A* della cornea diventa trasparente, e prende il nome di *cornea trasparente*. Dietro la cornea trasparente si trova una tramezza muscolare contrattile *P*, detta *iride*; l'iride è diversamente colorata, secondo i casi: gli è ad essa che è dovuto il colore degli occhi.

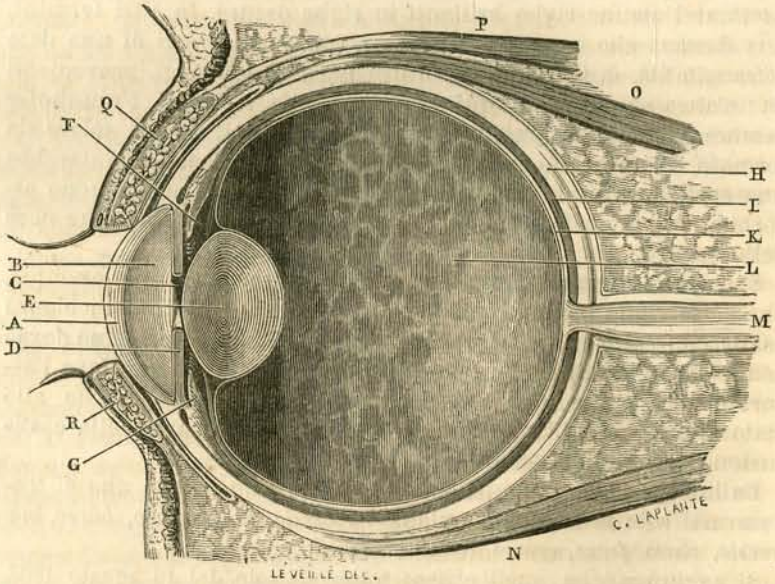


Fig. 709.

L'iride presenta al suo centro un'apertura detta *pupilla*, dalla quale i raggi luminosi possono penetrare nell'occhio. Dietro la pupilla si trova il *cristallino E*, corpo trasparente, avente press'a poco la forma di una lente, la di cui faccia anteriore ha una curvatura meno pronunciata della faccia posteriore. La porzione dell'occhio compresa fra il cristallino e la cornea trasparente, porta il nome di camera anteriore, ed è riempita da un liquido di una densità poco diversa da quella dell'aqua, detto *umore aqueo*. La parte *L*, posta dietro il cristallino, costituisce la camera posteriore, ed è riempita da un liquido di consistenza gelatinosa, contenuto in una

membrana sottilissima; è questa la parte che porta il nome di *umor vitreo*. La camera posteriore è tappezzata da una membrana nera, detta *coroidea*. Sulla coroide si distende la retina *K*, la quale non è altro che un'espansione del nervo ottico *M*, destinata a ricevere l'impressione luminosa.

764. Meccanismo della visione. — Risulta chiaramente da questa descrizione, che, se un fascio di luce proveniente da un punto esterno, entra nell'occhio, proverà una serie di rifrazioni, le quali avranno per effetto di renderlo convergente; giacchè, il cristallino avendo un'indice di rifrazione superiore a quello dei due mezzi fra i quali si trova (vedasi la tavola a pagina 685), tutte le rifrazioni hanno luogo nello stesso senso (1). Verrà dunque a formarsi, in qualche punto dell'occhio, un' immagine reale e capovolta, di un oggetto posto all'esterno. Se questa immagine si forma sulla retina, ha luogo la visione; questa è netta se l'immagine è netta, è confusa se l'immagine è confusa. In altri termini, la formazione sulla retina dell'immagine netta degli oggetti esterni, è la condizione fisica essenziale della visione.

Non ci è permesso di scoprire come accade, che il fenomeno fisico della immagine, si trasformi in sensazione; ciò non pertanto si intende che, dal momento che la retina è l'intermediario di questa sensazione, bisogna che l'immagine sia netta, inquantochè a questa sola condizione, un punto particolare della retina sarà esclusivamente impressionato da un punto esterno.

L'assieme delle rifrazioni provate successivamente da un raggio nell'occhio è, infatto, equivalente alla rifrazione unica, in un cristallino un po' differente dal cristallino effettivo; si può dunque assimilare l'esperienza della visione a quella della camera oscura, e considerare, per la formazione delle immagini, un centro ottico, posto nello spessore stesso del cristallino. Questa conclusione venne d'altronde verificata direttamente coll'esperienza.

765. Distanza della visione distinta. — L'indicazione teorica precedente, presa alla lettera, condurebbe ad una conseguenza direttamente contraria all'esperienza. Difatti, siccome la distanza della retina al centro ottico è invariabile, non vi sarebbero che i punti collocati ad una determinata distanza dall' occhio, che potrebbero formare una immagine netta, e quindi, esser nettamente percepiti. Ora, invece, è noto che l'occhio può percepire distintamente degli oggetti collocati a distanze qualsiansi, oltre un certo limite. Se si prende, per esempio, un disegno formato di dettagli sottili e delicati, ogni persona potrà trovare una posizione nella quale questi dettagli

(1) Da questa particolarità risulta che l'occhio non è acromatico. Questo difetto, poco sensibile nei casi ordinari, lo diviene notevolmente, quando si tratti di oggetti assai esili e vivamente rischiarati.

riescono il più nettamente distinti. Se, a partire da questa posizione, si allontana il disegno, la visione non cessa dall'esser netta, vale a dire che non si ha alcun inconveniente nella visione; però, la separazione dei dettagli si rende sempre più difficile, e giunge un momento in cui non si scorge altro che un fondo uniformemente rischiarato. Se, a partire dalla stessa posizione della più distinta visione, si fa muovere il disegno in senso opposto, vale a dire, avvicinandolo all'occhio, la visione diventa di mano in mano sempre meno distinta; si ha la coscienza di uno sforzo interno, e, finalmente, si raggiunge un punto, a partire dal quale, la visione distinta non è più possibile. Per ciascun individuo si ha dunque un limite inferiore della visione distinta. Quando l'occhio è normale, questo limite sembra si possa ritenerlo di 15 centimetri; è però molto inferiore pei miopi, superiore pei presbiti. Oltre questo limite, la visione rimane distinta qualunque sia la distanza degli oggetti, fatta eccezione dei miopi, pei quali la visione distinta è compresa fra limiti, spesso assai ristretti. Si ammette, generalmente, che nell'occhio organizzato normalmente, lo sforzo interno, di cui si è parlato sopra, cessa alla distanza di 30 centimetri. Gli è questa distanza che il più spesso dicesi distanza della *visione distinta*; ma è però importante di osservare che, veramente, non si ha una distanza unica a cui si possa attribuire questo nome; anzi, si hanno sempre distanze assai differenti, per le quali la visione può esser distinta.

Per gli oggetti che son collocati ad una distanza notevole dall'occhio, le proprietà ordinarie delle lenti permettono di rendersi conto di queste particolarità. Si ricava infatti dalla teoria, che, quando un oggetto è notevolmente lontano più del doppio della distanza focale principale, il suo fuoco si produce in vicinanza al fuoco principale, ed allora, a variazioni considerevoli nella posizione dell'oggetto, corrispondono variazioni insignificanti nella posizione dell'immagine (733). Ma, quando si tratta di oggetti assai vicini all'occhio, bisogna necessariamente ammettere che si produce un accomodamento dell'occhio stesso, accomodamento destinato a ridurre l'immagine sulla retina. Lo sforzo incontestabile che accompagna la visione degli oggetti vicini, ne è indizio. Questo accomodamento dell'occhio, negato per lungo tempo, venne posto in evidenza in modo assoluto. Si è infatti constatato che l'immagine della fiamma di una candela, formata per riflessione alla parte anteriore del cristallino, si sposta sensibilmente, quando l'occhio osserva oggetti diversamente lontani, spostamento che accusa un' accrescimento di curvatura, quando gli oggetti si avvicinano.

766. Ufficio dei due occhi nella visione. — La visione può incontestabilmente aver luogo con un solo occhio; è dunque naturale di in-

vestigare qual sia l'utilità dei due occhi; qual ufficio questi compiono nella visione. Si capisce facilmente, prima di tutto, come, sebbene vi sieno due immagini formate sulle due retine, si abbia la sensazione di un solo oggetto. È questa una conseguenza pura e semplice dell'educazione della vista, la quale si abitua ad una sensazione unica, quando dei punti *corrispondenti* delle due retine sono impressionati. Se si appoggia un dito sul globulo di un'occhio, i punti impressionati sulle due retine non sono più corrispondenti, e la visione riesce raddoppiata.

L'ufficio dei due occhi nella visione ordinaria, consiste nell'apprezzamento delle distanze. Se, infatti, si dirigono i due assi visuali verso un punto esterno, l'angolo formato da questi assi sarà tanto maggiore, quanto più il punto sarà vicino, e reciprocamente. La coscenza del valore di questo angolo interviene nell'apprezzamento della distanza. Gli è assai facile di notare che, questa apprezzamento, diventa incerto, quando si chiuda uno dei due occhi. Quando una persona, per un accidente, si trova momentaneamente privata dell'uso di uno de'suoi occhi, commette una quantità di malestri, spiegabili coll'incertezza dell'apprezzamento delle distanze.

A misura che gli oggetti si allontanano, l'angolo dei due assi visuali diviene di più in più piccolo, le sue variazioni riescono insensibili, e l'apprezzamento delle distanze diviene impossibile; così, quando gli oggetti sono un po' lontani, sembrano alla medesima distanza dall'osservatore.

767. Visione binocolare. — Steoroscopio. — Questo apprezzamento della distanza è evidentemente uno degli elementi della sensazione del rilievo. Però, questa sensazione sembra abbia relazione anche con un fenomeno di altra natura. Quando si osservano oggetti poco lontani dall'occhio, le immagini formate sulle due retine non sono in tutto uguali; vi sono infatti dei punti che l'occhio destro può percepire, e che sono invisibili per l'occhio sinistro, e reciprocamente. Se, per esempio, si osserva un dado (fig. 710) coll'occhio destro, si scorgerà una prospettiva della faccia destra, e la faccia a sinistra riescirà invisibile, l'opposto avrà luogo se si osserva il dado coll'occhio sinistro. Secondo l'opinione del signor Wheatstone, gli è appunto alla combinazione di queste due immagini dissimetriche, che è dovuta la sensazione del rilievo. Questa ingegnosa teoria è confermata degli effetti di un'istrumento, assai conosciuto sotto il nome di *stereoscopio*.

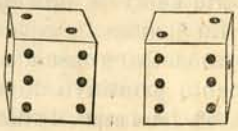


Fig. 710.

Al fondo di una cassetta divisa in due da uno scomparto longi-

tudinale (fig. 711), si pongono due disegni rappresentanti, l'uno l'immagine di un'oggetto in rilievo, vista coll'occhio destro, l'altra, quella vista coll'occhio sinistro; sulla faccia anteriore della cassetta son disposti due prismi, o, più precisamente, due mezze lenti, le quali danno ai raggi luminosi, come lo mostra la figura 712, la stessa direzione, come se provenissero dall'oggetto; l'occhio crede allora di vedere l'oggetto stesso, con un rilievo assai sensibile.

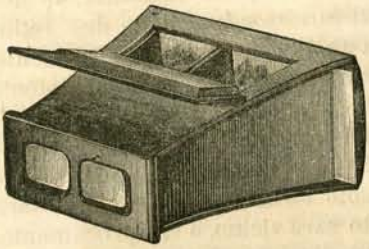


Fig. 711.

Il rilievo steoroscopico è assai sentito, e costituisce la sensazione propria, ed assai distinta, alla quale dà sempre luogo una prospettiva esatta. Così, quando si osserva nello steoroscopio, *con un sol occhio*, una prova fotografica, si prova una certa sensazione di rilievo, risultante dalla prospettiva. Gli è appunto questo genere di sensazione quello prodotto dalle scene teatrali ben eseguite, dai diorami, ed anche dagli apparecchi, detti *ottici*, nei quali si osservano, per mezzo di lenti di ingrandimento, dei disegni in prospettiva. Se, mentre si osserva con un occhio nello steoroscopio, si apre l'altro occhio, si produce una spece di movimento nell'immagine, ed il rilievo diviene pronunciato e fisso, in un modo assai curioso.

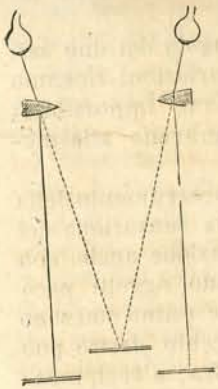


Fig. 712.

Generalmente sono prove fotografiche quelle che si pongono nello steoroscopio. Per ottenerle, si fa uso di un'apparecchio fotografico, munito di due obbiettivi, i quali fanno l'ufficio, uno dell'occhio destro, l'altro del sinistro. Si dirige l'asse dell'apparecchio verso la parte centrale dell'oggetto da riprodurre.

Lo steoroscopio venne immaginato dal signor Wheatstone, ma il modello conosciuto dal pubblico, è una modificazione dell'istrumento primitivo dovuto a Brewster.

768. Istrumenti d'ottica. — Nel senso letterale della parola, si possono dire istrumenti d'ottica tutti gli istrumenti, di qualsiasi natura, nei quali si pone in evidenza, o si utilizza, una proprietà qualunque dei raggi luminosi; ma, nella pratica, si è riservato questo nome agli istrumenti che servono di ausigliari all'occhio, supplisco no ai suoi diffetti, ed, in ogni caso, ne accrescono la potenza.

Questi istrumenti formano quattro gruppi: gli *occhiali*, i *microscopi*, i *cannocchiali*, i *telescopi*.

769. Occhiali. — Gli occhiali sono destinati a rimediare ai diffetti della vista, conosciuti col nome di *presbitismo* e *miopia*.

Occhiali dei presbiti. — La presbitismo è un'effetto ordinario dell'età avanzata, e poche persone vi sfuggono. Nei presbiti, il limite inferiore della visione distinta essendo maggiore del limite normale, succede, generalmente, che dei caratteri da stampa di grandezza media, posti alla distanza di 30 centimetri, cessano d' esser percepiti distintamente. Si ovvia a questo grave inconveniente, diminuendo la divergenza dei raggi arrivanti all'occhio, coll' inter-

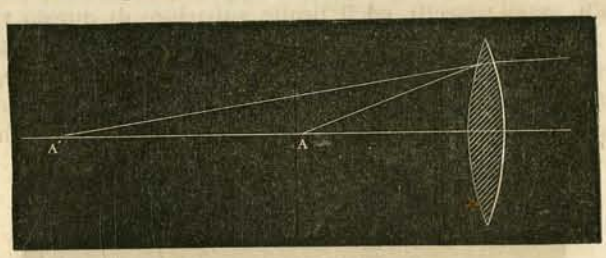


Fig. 713.

posizione di una lente convessa (fig. 713). Si vede infatti che, se dei raggi luminosi partono dal punto A, dopo la loro rifrazione attraverso alla lente, il punto di concorso si trova portato in A', ad una maggior distanza dall' occhio, e più opportuna per la visione distinta del presbite.

Gli ottici distinguono, ordinariamente, con numeri le differenti lenti; questi numeri rappresentano la grandezza della distanza focale, espressa in pollici; così, il numero 16 caratterizza una lente la di cui distanza focale principale è di 16 pollici. Quando un presbite può stabilire la posizione del punto A', che gli permette di leggere facilmente, è assai agevole di calcolare il numero della lente che gli conviene per poter leggere alla distanza di 30 centimetri. Si supponga, per esempio, che A' si trovi a 45 centimetri dall'occhio; i punti A ed A', sono fuochi conjugati rispetto alla lente; applicando dunque la formola ordinaria, e ponendo, x il numero cercato, d la distanza della visione particolare dell' individuo, ed osservando che, in questo caso, il fuoco essendo virtuale, bisognerà cambiar di segno a p', si ha:

$$\frac{1}{30} - \frac{1}{d} = \frac{1}{x}$$

equazione dalla quale si cava:

$$x = \frac{30\,d}{d - 30}.$$

Pel caso supposto, se ne deduce $x = 90$ centimetri o, in pollici, 38: questo è il numero della lente che conviene di scegliere.

Non sempre è possibile di poter fissare la distanza alla quale può farsi la lettura distintamente. A misura, infatti, che questa distanza cresce, il diametro apparente dei caratteri diminuisce; l'organo della vista perde d'altronde della sua forza e della sua sensibilità, man mano che la presbitia progredisce, e le forti lenti convergenti, usate da qualche persona in età avanzata, agiscono un po' anche come microscopio semplice, aumentando il diametro apparente degli oggetti, e rendendoli più facilmente percettibili.

Miopi. — Nei miopi la distanza della visione distinta è compresa fra limiti assai ristretti, ed il limite superiore di questa visione è spesso assai inferiore ai 30 centimetri, dimodochè, la lettura diventa incomoda. Si fa allora uso di un vetro concavo, disposto in modo tale, che i raggi partiti dal punto A, posto alla distanza ordinaria, e resi divergenti delle lente posta innanzi all'occhio, sem-

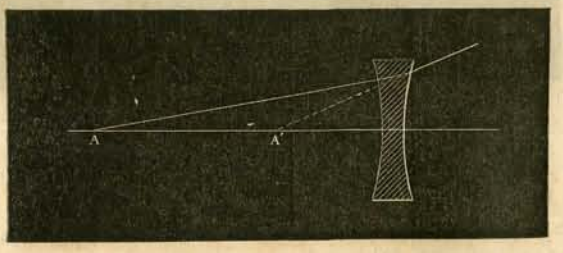


Fig. 711.

brino provenire da un punto A', collocato nel limite della visione distinta del miope, o meglio, al limite inferiore di questa visione.

Si può in questo caso, come in quello della presbiopia, calcolare il numero conveniente. Si supponga il punto A' a 15 centimetri, e si applichi, colle considerazioni precedentemente stabilite, la formola delle lenti, si otterrà:

$$\frac{1}{30} - \frac{1}{d} = -\frac{1}{x}$$

dalla quale:

$$x = \frac{30 \,.\, d}{30 - d}$$

Nel caso supposto, $x = 30$, od, in pollici, $x = 11$; è questo il numero cercato.

Si osservi che la lente divergente posta dinanzi all'occhio del miope, non ha solamente per effetto di ricondurre nei limiti della visione distinta gli oggetti collocati ad una distanza determinata, ma ben anche tutti gli oggetti posti al di là, in una certa estensione.

Se si pone innanzi all'occhio una lente, la di cui distanza focale sia precisamente uguale al limite superiore della visione, il miope vedrà distintamente tutti gli oggetti posti in lontananza, allo stesso modo come un'individuo di occhio normale.

770. Camera oscura. — Le immagini ottenute nella camera oscura (681), sono tanto più nette, quanto più piccola è l'apertura. Ma, man mano però che l'apertura si impiccolisce, diminuisce pure la quantità di luce e, quindi, l'immagine riesce di meno in meno rischiarata. Le proprietà delle lenti permettono di eliminare questa difficoltà.

Fig. 715.

Se, infatti, in luogo della piccola apertura, si pone una lente di apertura più o meno notevole, e si dispone uno schermo al suo fuoco principale, gli oggetti esterni, abbastanza lontani, daranno origine ad immagini capovolte, in conformità alle proprietà precedentemente indicate.

Questa immagine non riescirà, evidentemente, netta, che allorquando gli oggetti saranno sufficientemente lontani; potranno però trovarsi a distanze assai diverse, giacchè, dal momento che il punto luminoso ha sorpassato, in modo abbastanza notevole, il

doppio della distanza focale principale (733), il fuoco conjugato non proverà che delle variazioni di posizione insensibili.

La figura 715 rappresenta la camera oscura che usavano, qualche volta, i disegnatori, e che permette di eseguire rapidamente il disegno di un paesaggio. È una spece di tenda, che si può chiudere completamente con tende opache. Alla sommità è disposta un' apertura, sotto la quale è incastonata una lente, ed al disopra uno specchio che riflette i raggi sulla lente. Si ha vantaggio a sopprimere lo specchio, ed a far uso dell'obbiettivo speciale, rappresentato dalla figura 716. I raggi luminosi provenienti dagli oggetti esterni, cadono su di una superfice convessa, sulla quale provano una prima rifrazione; di là, vanno ad incontrare una superfice piana, inclinata sotto tal angolo da rifletterli totalmente nel senso verticale; emergono, infine, da una superfice, concava all'esterno. Si ha dunque lo stesso risultato come se i raggi si fossero rifratti attraverso ad un menisco convergente. L' immagine va a prodursi in *A*, su di un foglio di carta, ed il disegnatore, seduto nella tenda, può seguirne facilmente i contorni.

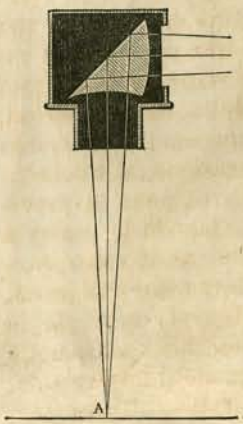


Fig. 716.

Questo istrumento, abbastanza in uso in altre volte, e che ebbe anzi una certa voga, è oggigiorno quasi dimenticato, o, per lo meno, relegato nel rango dei giocattoli d'ottica. Esso infatti serviva specialmente per fare degli schizzi, che l'artista utilizzava in seguito nel suo lavoro. Ora, questi schizzi, sono assai vantaggiosamente sostituiti dalle prove fotografiche.

771. Camera oscura dei fotografi. — La camera oscura dei fotografi è formata da una cassetta (fig. 717), sopra una a faccia della quale è fissato un tubo *h i*, terminato dall' obbiettivo. Questo obbiettivo è formato da due lenti. L'impiego di due lenti, invece di una lente unica, si riscontra spesso in ottica, ed è facile di intenderne il motivo. Si supponga, infatti, un fascio di raggi luminosi

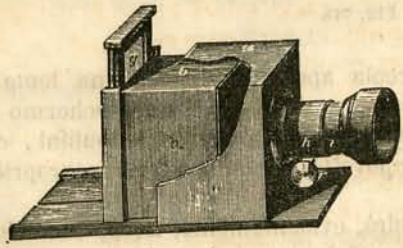


Fig. 717.

paralleli, che giungono su di un tale sistema; dopo la rifrazione sulla prima lente, i raggi subiscono una seconda rifrazione, ed il punto di concorso va ad effettuarsi assai più vicino, di quanto lo sarebbe stato con una sola lente. Si è dunque ottenuto lo stesso effetto come coll'impiego di una lente di fuoco più corto, ma col vantaggio della maggior chiarezza. Ciò dipende dal fatto che, onde evitare le abberrazioni di sfericità, le lenti non devono mai abbracciare che una piccola parte delle sfere che le conterminano; se dunque le sfere hanno un piccolissimo raggio, vale a dire, se la distanza focale è corta, la lente sarà assai piccola, e di conseguenza ammetterà poca luce.

La disposizione adottata rimedia a questo inconveniente, ed a qualche altro, di cui non è a far parola qui. In *g* si trova un vetro smerigliato, sul quale va a formarsi l'immagine dell'oggetto che si vuol riprodurre. Per *mettere a fuoco*, vale a dire, per porre il vetro smerigliato nella posizione che corrisponde esattamente al fuoco conjugato dell'oggetto, si fa uso, dapprima della cassetta stessa, la quale presenta una parte *b*, di minori dimensioni, rientrante nella porzione *a*; quindi, per terminare l'operazione, si manovra il bottone *r*, il quale, per mezzo di una dentiera, pone in movimento la porzione *i*, che porta l' obbiettivo. Quando la messa a fuoco è al massimo possibile perfetta, si sostituisce al vetro smerigliato, la lamina sensibilizzata, sulla quale deve fissarsi la prova.

I processi fotografici ora in uso sono assai diversi, non già in quanto si riferisce alla parte ottica dell' apparecchio, bensì nelle reazioni chimiche, e quindi nella natura dei prodotti impiegati. Il principio fondamentale risale al fisico inglese Talbot; dimenticato durante i grandi successi di Daguerre, si trova ora invece in tutti i processi. Consiste nel procurarsi dapprima una prova *negativa*, nella quale le parti *bianche* dell' oggetto sono *nere*, e viceversa. Questa prova, ottenuta su di una lamina più o meno trasparente, vien collocata in seguito sopra un foglio di carta sensibilizzata col cloruro d'argento; il tutto si espone ai raggi solari. I bianchi del nenegativo forniscono, in questo modo, le parti nere sulla carta sensibile, e si ottiene così una prova positiva. Lo stesso *negativo*, o *cliché*, può servire ad ottenere un gran numero di *positive*.

772. Impiego delle lenti nelle projezioni. — Le lenti vengono continuamente adoperate in fisica per projettare le immagini di diverse esperienze, e renderle così sensibili ad un gran numero di spettatori alla volta. Le disposizioni variano da un caso all'altro, e non possono quindi venir indicate in modo generale.

773. Microscopio solare. — Lanterna magica. — Il microscopio solare si compone esenzialmente di una lente convergente, a corto fuoco, che fornisce un'immagine assai ingrandita, formantesi un poco al

di là del fuoco. Onde questa immagine riesca sufficientemente il luminata, si rischiara l'oggetto col mezzo dei raggi solari, riflessi da uno specchio *M* (fig. 718), e concentrati per mezzo di una lente a larga superfice (fig. 719). Spesso, invece di una lente a cortissimo fuoco, si fa uso di una combinazione di una lente convessa e di

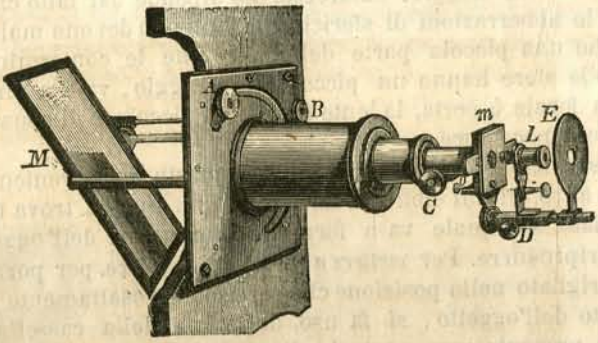


Fig. 718.

una lente concava, combinazione che, a parità di ingrandimento, fornisce maggior luce.

La sorgente luminosa, nei regolatori a luce elettrica, vien posta ordinariamente in una lanterna, al fuoco di un riflettore sferico o parabolico; il fascio viene in seguito concentrato da una lente, e può così rischiarare un oggetto, la di cui immagine vien data poi da una lente collocata al di là di esso. In questo modo si possono projettare degli oggetti microscopici, ed in questo caso, l'apparecchio prende il nome di microscopio foto-elettrico (fig. 720).

La lanterna magica è un giocattolo assai conosciuto, la di cui

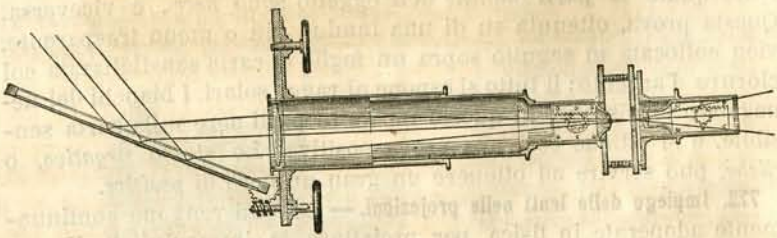


Fig. 719.

disposizione è analoga alla precedente. È una cassetta *HHKK* (fig. 721), contenente una lampada. Un riflettore *HHH*, posto di dietro alla lampada, rimanda la luce sopra una delle facce della cassetta. Su questa faccia si addatta un tubo *n o*, terminato alle sue estre-

mità da una lente; una di queste serve a rischiarare l'oggetto *a b*, l'altra, che può venir anche sostituita, come lo mostra la figura, da un sistema di due lenti *n n*, *o o*, serve a fornirne l'immagine. Gli oggetti sono, ordinariamente, grossolane pitture sul vetro. Queste vengono poste capovolte nella lanterna; la loro immagine riesce perciò diritta.

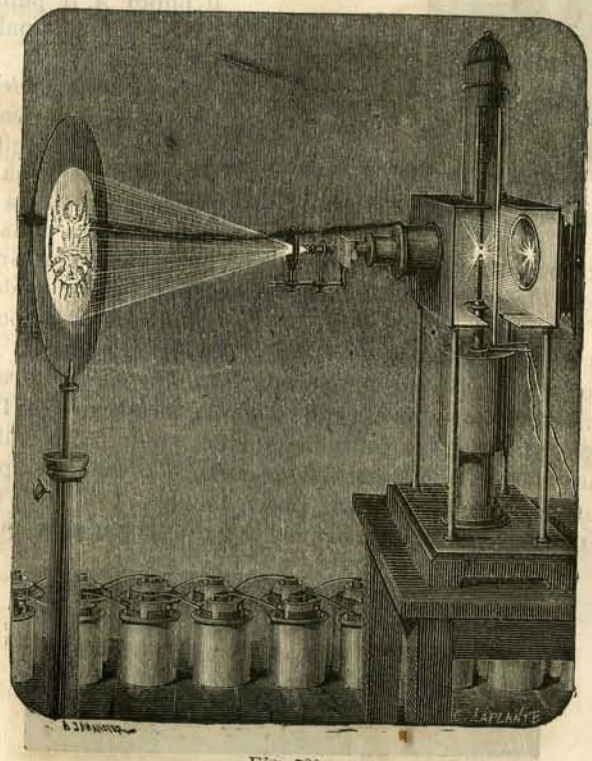


Fig. 720.

774. Microscopio semplice. — Il microscopio semplice è semplicemente formato da una lente convessa, dietro alla quale si dispone un oggetto *a b* (fig. 722), collocato ad una distanza minore della distanza focale principale. Come venne spiegato (739), si forma allora un'immagine virtuale, ingrandita *A B*; se si fa variare la posizione dell'oggetto *a b*, in modo che quest'immagine si produca alla distanza della visione distinta, si potrà sostituire alla visione dell'oggetto, quella dell'immagine, ed approfittare così, per lo studio dell'oggetto stesso, dell'ingrandimento prodotto dalla rifrazione. La figura mostra la costruzione dell'immagine, ottenuta col processo da noi

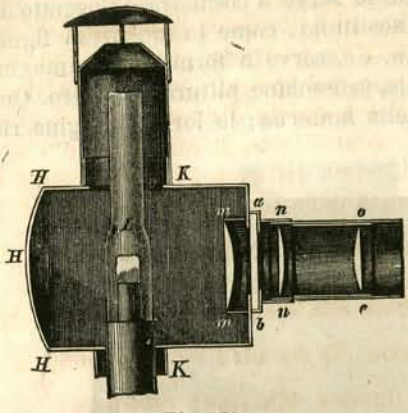


Fig. 721.

già molte volte adoperato. Dal punto *a* si traccia un raggio parallelo all'asse, e se ne ottiene il raggio rifratto *M F*, passante pel fuoco; l'intersezione coll'asse ottico *a O*, determina il punto *A*. Il punto *B* si ottiene con un'analoga costruzione.

Punto dove si deve collocare l'oggetto. — Onde l'immagine riesca nettamente percepita, bisogna che la distanza *K C* sia uguale alla distanza della visione distinta; ne risulta necessariamente una posizione determinata dell'oggetto *a b*, facile da calcolarsi. Si trova che, nel caso delle lenti a fuoco assai corto, la distanza *O c*, deve differire assai poco dalla distanza focale principale.

La teoria mostra come l'intervallo fra i due limiti estremi delle posizioni che si possono dare all'oggetto, è assai ristretto. Da qui si ha la spiegazione di un fatto, che sembra contraddire colle cognizioni che si possiedono sulla visione, e che, d'altronde, è applicabile a tutti gli istrumenti d'ottica. Così, mentre al di là di un certo limite inferiore, l'occhio normale vede nettamente a qualunque

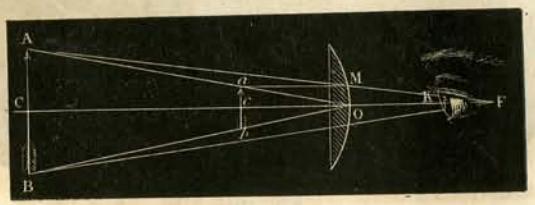


Fig. 722.

distanza, negli istrumenti d'ottica, per poco che l'oggetto si sposti, in un senso o nell'altro, dalla posizione che dicesi il *fuoco*, la visione diviene confusa. Onde l'occhio veda nettamente, bisogna che l'immagine si trovi tra l'infinito e la distanza inferiore della visione distinta; ma ciò corrisponde ad una variazione assai piccola nella posizione dell'oggetto, variazione che sarebbe d'altronde facile da calcolarsi separatamente per ciascun istrumento d'ottica in particolare, e che spiega il fatto sopracitato.

Ingrandimento. — Si dà il nome di *ingrandimento* al rapporto tra il

diametro apparente dell'immagine, ed il diametro apparente dell'oggetto, questo trovandosi nella miglior posizione per esser visto direttamente. Ora, dal momento che, per ipotesi, AB è la posizione della *miglior visione distinta*, gli è a questa distanza che bisognerebbe collocare l'oggetto, onde vederlo bene. L'immagine e l'oggetto, trovandosi allora alla medesima distanza, l'ingrandimento è evidentemente uguale al rapporto delle loro dimensioni, vale a dire ad $\frac{AB}{ab}$, o, come si deduce dai triangoli simili AOB, aOb, uguale a $\frac{CO}{cO}$. Ma CO è uguale alla distanza D della visione distinta; cO è sensibilmente uguale alla distanza focale principale f della lente: l'ingrandimento è dunque dato dalla relazione $\frac{D}{f}$.

Si deduce da questa relazione, che l'ingrandimento è tanto maggiore, quanto più corto è il fuoco, e quanto più lunga la visione distinta. Questa seconda proposizione sembra in contraddizione coll'esperienza, giacchè, è un fatto notorio, che i miopi hanno maggior vantaggio dei presbiti nel servirsi del microscopio. Questa contraddizione apparente, si deve attribuire al fatto che, nell'uso di questo istrumento, non si compara precisamente l'oggetto colla sua immagine, nelle condizioni di cui si è parlato; ma si osserva un oggetto *di grandezza determinata*, per esempio, le divisioni di un verniero o di un micrometro. L'ingrandimento del diametro apparente è allora dato dal quoziente che si ottiene dividendo l'ingrandimento propriamente detto per la distanza della visione distinta, ed è facile di vedere, che questo quoziente riesce maggiore pei miopi che pei presbiti.

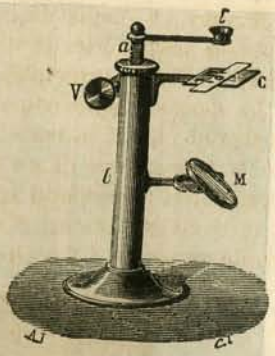


Fig. 723.

Microscopio semplice. — Si dà ordinariamente il nome di microscopio semplice ad una lente convergente, montata in modo da facilitare l'osservazione metodica degli oggetti. La figura 723 rappresenta un'istrumento di questo genere. La lente è disposta in una montatura d'ottone, e si trova in l; si può alzarla od abbassarla per mezzo del bottone V, che pone in movimento la dentiera a. C' è il porta oggetti; in un certo punto del sostegno b, si dispone uno specchio leggermente concavo M, per mezzo del quale si rischiara l'oggetto, in modo da rendere la sua immagine più luminosa, e quindi più facile da studiarsi.

Microscopio semplice ad oculare composto. — La formola dell'ingrandimento mostra che, per ottenere un ingrandimento notevole, bisogna diminuire la curvatura delle lenti; ma, d'altra parte, le abberrazioni di sfericità, aumentando assai rapidamente quando la curvatura va diminuendo, giacchè allora si va allontanandosi alquanto dalla direzione dell'asse, le immagini riescono cattive. D'altra parte però, una piccola lente, non potendo ricevere che una piccola quantità di luce, le immagini riescono poco illuminate. Si eludono questi inconvenienti facendo uso di due lenti convesse, il di cui assieme agisce come una lente di fuoco più corto; allora ciascuna di esse può avere una estensione in rapporto colla curvatura delle sfere che le limitano. La prima delle lenti considerate isolatamente, fornirebbe un'immagine, che, considerata come oggetto, darebbe luogo, per mezzo della seconda lente, all'immagine definitiva.

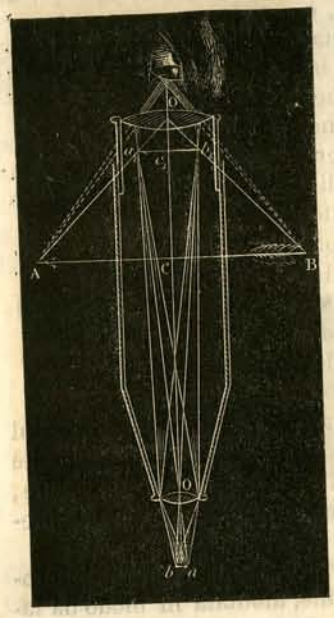


Fig. 724.

Si impiega spesso questo sistema particolare come oculare in diversi istrumenti d'ottica; la sua teoria esatta, senza presentare delle effettive difficoltà, supera, ciò non pertanto, i limiti naturali di questo trattato. Noi ci accontenteremo di far osservare, che l'esperienza e la teoria mostrano come si abbia vantaggio a far uso di menischi piano convessi, le parti curve dei quali si prospettano. Quando, le distanze focali delle due lenti essendo uguali, la distanza che le separa è uguale ai $\frac{2}{3}$ di questa distanza focale stessa, il sistema prende il nome di *oculare di Ramsden*, od oculare positivo.

775. Microscopio composto. — Il microscopio composto consiste esenzialmente di una lente O, detta obbiettivo (fig. 724), posta all'estremità di un tubo, e di un altra lente O' detta oculare, che serve ad osservare l'immagine reale di un oggetto, formata dalla prima. L'oggetto $a\,b$ è collocato dietro l'obbiettivo, ad una distanza compresa, fra la distanza focale principale, ed il doppio di questa stessa distanza; se ne otterrà perciò un'immagine reale ingrandita $a'\,b'$. Se questa immagine si forma ad una distanza conveniente dall'oculare, questo permetterà di ve-

der l'immagine virtuale AB, formata alla distanza della visione distinta. Si hanno dunque, in questo caso, due ingrandimenti successivi; quello dovuto all'obbiettivo e quello dovuto all'oculare; di qui il nome di microscopio composto, dato a questo istrumento.

Ingrandimento. — Con un ragionamento simile a quello impiegato a proposito del microscopio semplice, si può mostrare che l'ingrandimento è dato dal rapporto $\frac{AB}{ab}$. Ma questo rapporto è uguale ad $\frac{AB}{a_1 b_1} \cdot \frac{a_1 b_1}{ab}$. Il primo fattore rappresenta l'ingrandimento dovuto all'obbiettivo, il secondo quello dovuto all'oculare; da ciò si vede che, l'ingrandimento totale è uguale al prodotto dei due ingrandimenti dovuti all'obbiettivo, ed all'oculare; ciò che d'altronde era evidente *a priori*.

L'ingrandimento dovuto all'oculare, nel caso in cui questo sia formato da una sola lente, è conosciuto, ed uguale a $\frac{D}{f}$; basta dunque moltiplicare questa quantità per l'ingrandimento dovuto all'obbiettivo. Questo ingrandimento si misura direttamente nel seguente modo. Nel luogo dove si forma l'immagine reale dell'oggetto si trova un diaframma di diametro noto. Questo diaframma serve anche a limitare il campo dello strumento, ed a non lasciar giungere sull'oculare che i fasci poco obliqui all'asse. Si supponga che si collochi sul porta oggetti un micrometro, formato da un millimetro diviso in 100 parti uguali; si scorgerà l'immagine di questo oggetto, limitata dal diaframma; sia n il numero di divisioni che vi si possano contare; ciascuna di queste ha per lunghezza $\frac{1}{100}$ di millimetro, e, quindi, la lunghezza reale dell'oggetto di cui si vede l'immagine è, prendendo il millimetro per unità, $\frac{n}{100}$. D'altra parte, la lunghezza dell'immagine è esattamente quella del diametro M del diaframma, espresso in millimetri; l'ingrandimento dovuto all'obbiettivo è dunque $M : \frac{n}{100} = \frac{100\,M}{n}$; quindi, l'ingrandimento totale è $\frac{100\,M}{n} \cdot \frac{D}{f}$. Siccome, generalmente, non si fa uso di un oculare semplice, ma bensì di un'oculare composto, analogo a quello descritto nel paragrafo precedente, al secondo fattore deve sostituirsi il valore dell'ingrandimento dell'oculare particolare di cui si fa uso.

Misura diretta dell'ingrandimento. — Si può d'altronde, determinare in modo empirico l'ingrandimento totale, per mezzo di un

esperienza diretta. Si pone, a tale scopo, al disopra dell'oculare, uno specchio inclinato, e munito di un' apertura al suo centro (fig. 710) Di fianco si trova un prisma rettangolo, la di cui ipotenusa riflette totalmente l'immagine di un regolo graduato; in questo modo, l'occhio vede, nel campo del microscopio, l'immagine del regolo. Basta quindi di assumere per oggetto il micrometro, per conoscere qual numero di graduazioni del regolo riescono coperte da un determinato numero di divisioni del micrometro. Se, per esempio, n divisioni del micrometro coprono N divisioni del regolo diviso in millimetri, l'ingrandimento è:

$$N : \frac{n}{100} = \frac{100\,N}{n}.$$

Fig. 725.

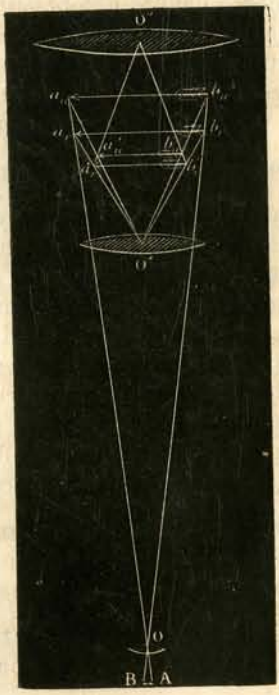


Fig. 726.

Uso dell'oculare negativo. — Si impiega come oculare, ora l'oculare positivo, descritto nel paragrafo precedente, ora un oculare, composto pure di due lenti convesse, ma diverso di quello di Ramsden, in ciò che la prima delle lenti si trova più vicina all'obbiettivo, del luogo dove si formerebbe l'immagine reale dell'oggetto; la quale formerebbe, direttamente, nell'intervallo tra le due lenti. A motivo di questa circostanza, si è dato a questo oculare il nome di oculare negativo. Huyghens, che pel primo ne ha pro-

posto l'impiego, lo destinava alla correzione degli effetti della dispersione. Sebbene ora si faccia uso di lenti acromatiche, pure, siccome questo acromatismo non è mai assoluto, l' oculare negativo può ancora avere, sotto questo aspetto, qualche utilità. La figura 726, mostra come si produce questo effetto. L'oggetto AB, posto innanzi all'obbiettivo, darebbe origine, nel caso in cui non è acromatico, ad una serie di immagini colorate; $a_r b_r$ è l'immagine rossa, $a_u b_u$ è l'immagine violetta. Ma, prima ancora che questi raggi si sieno incontrati per formare effettivamente questa immagine, incontrato la lente, O', che rigetta l' immagine rossa in $a'_r b'_r$, e la violetta in $a'_u b'_u$. Ora risulta, dalla disposizione degli assi ottici, che l'immagine violetta è, ad una volta, più piccola dell'immagine rossa e più vicina alla lente O''. Si capisce dunque, come questa lente possa porsi in modo tale, che le due immagini sieno contenute nell' angolo che ha per vertice il centro ottico di O''. In questo caso, l'occhio essendo assai vicino alla lente, le diverse immagini verranno projettate esattamente le une sopra le altre, e non si avranno frangie colorate. Questo oculare ha pure il vantaggio d'aumentare il campo dell'istrumento.

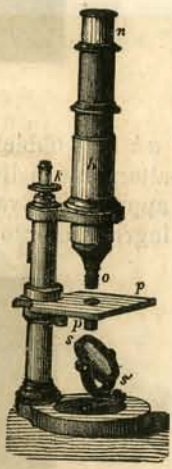


Fig. 727.

Diversi organi del microscopio. — Indipendentemente dalla parte ottica dell'istrumento, nel microscopio sono da considerarsi i diversi organi che servono a sostenere le lenti, a disporre l'oggetto, a muoverlo, a rischiararlo, ecc., organi che hanno, dal punto di vista delle ricerche scientifiche, una importanza notevole (fig. 727).

776. Cannocchiale astronomico. — Il cannocchiale astronomico si compone esenzialmente di una lente O, di apertura notevole, formante l' obbiettivo (fig. 728): gli oggetti lontani danno origine ad un' immagine capovolta ab, formantesi al fuoco principale dell' obbiettivo. Questa immagine viene osservata per mezzo di un oculare O', che ne dà, alla distanza della visione distinta, un' immagine virtuale, ingrandita $A'B'$. Nella figura, 1 e 2 rappresentano i raggi estremi del fascio partente dalla parte superiore dell' oggetto (A), 3 e 4 i raggi estremi partenti dalla parte inferiore (B). Questi due fasci, dopo di essersi rifratti nell'obbiettivo, vanno a concorrere in a e b. Di là essi formano due fasci, che vanno a cadere sull' oculare, e quindi ad incontrarsi in EE', a piccola distanza dall'oculare stesso.

Ingrandimento. — L'oggetto è veduto direttamente sotto l'angolo aOb, e l'immagine sottende, al centro ottico dell'oculare, l' angolo

$A' O' B'$; se dunque si trascura la distanza dell'occhio dall'oculare, l'ingrandimento ha per espressione il rapporto $\frac{A' O' B'}{a O b}$, o, ciò che equivale, $\frac{a O' b}{a O b}$; ora, siccome questi angoli son sempre piccoli, questo rapporto è assai prossimamente uguale al rapporto delle distanze

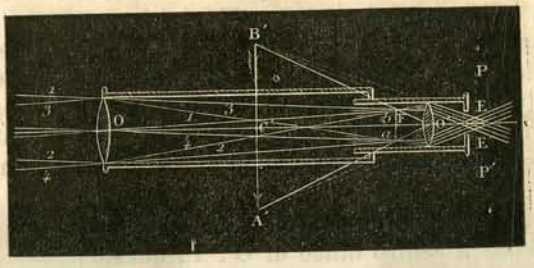


Fig. 728.

di $a b$ dall' obbiettivo, e dall'oculare. La prima di queste distanze è esattamente la distanza focale principale F dell'obbiettivo; la seconda è, approssimativamente, uguale alla distanza focale dell' oculare, f; l' ingrandimento è dunque approssimativamente dato della rela-

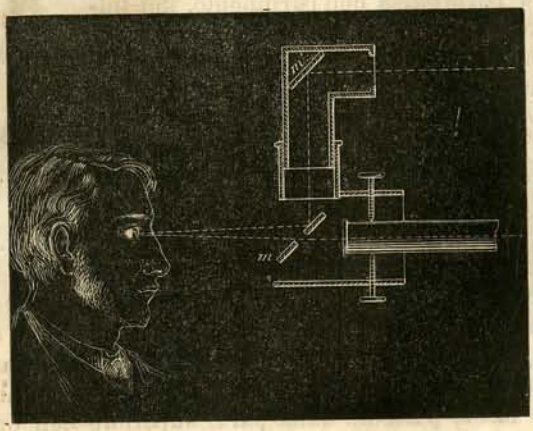


Fig. 729.

zione $\frac{F}{f}$. Come si vede, l'ingrandimento è tanto maggiore, quanto più il fuoco dell' obbiettivo è lungo, e quello dell'oculare è corto. Questa espressione semplice dell'ingrandimento, suppone che l' oculare sia semplice, vale a dire, che esso sia formato da una

lente convessa unica; generalmente non è così, e si fa uso, sia dell'oculare positivo, sia dell'oculare negativo. In questo caso l'espressione dell'ingrandimento è assai più complessa di quella sopra trovata, e, perciò, non la faremo oggetto delle nostre ricerche. Si può, del resto, con un processo analogo a quello indicato pel microscopio, misurare l'ingrandimento in modo diretto. Si guarda nel cannocchiale, con un occhio una mira lontana, e coll'altro occhio si osserva la mira direttamente. Si può così constatare il numero di divisioni effettive contenute nell'intervallo fra due divisioni dell'immagine; il rapporto di questi numeri, dà appunto l'ingrandimento. Quando il cannocchiale è un po' forte, il corpo dell'istrumento impedisce di osservare la mira col secondo occhio; in questo caso, si adatta all'istrumento una specie di camera chiara (fig. 729), come nel microscopio. I raggi provenienti direttamente dalla mira vengono riflessi dallo specchio forato *m*, posto dinanzi all'oculare.

Disposizione dell'istrumento. — L'obbiettivo acromatico è disposto in una montatura (fig. 730), che si avvita all'estremità di un forte tubo di ottone *A A*. In questo tubo scorre a sfregamento durò un secondo tubo *F*, all'estremità del quale si trova l'oculare. Nel tubo porta-oculare, si trova, ordinariamente, un reticolo formato da due fili incrociati, assai sottili; questo reticolo è mobile, e se ne regola la posizione in modo che, visto attraverso all'oculare, la sua immagine si formi alla distanza della visione distinta. Gli è in questa stessa posizione che si trova il diaframma, ed è qui pure che deve formarsi l'immagine reale fornita dalla lente obbiettiva. Si ottiene questo risultato per mezzo di un movimento lento, prodotto dalla vite *V*, che agisce su tutto il sistema porta-oculare.

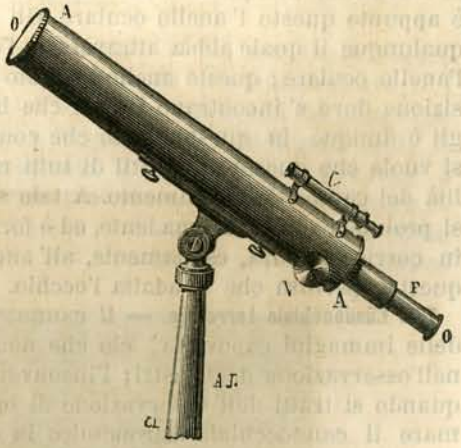


Fig. 730.

Cercatore. — In *l* si vede un piccolo cannocchiale, parallelo al cannocchiale principale; esso riesce indispensabile quando l'ingrandimento è un po' forte; questo piccolo cannocchiale è detto *cercatore*. Per intenderne l'utilità, bisogna notare che, nel cannocchiale astronomico, come nel microscopio, il campo è limitato dal cono che, avendo per vertice il centro dell'obbiettivo, si appoggia

sul contorno dell'oculare, o meglio, sul diaframma. Ne consegue necessariamente che, quando l'ingrandimento è assai grande, il campo è invece assai piccolo, e riesce difficile di ridurre nella visuale dell'istrumento l'oggetto che si vuol osservare. Gli è per questo motivo che si fa uso del cercatore, il quale è un piccolo cannocchiale munito di un reticolo. Il campo di questo cannocchiale essendo assai grande, è facile di trovare il punto che si vuol osservare, e ridurlo al centro del reticolo. In causa del parallelismo delle visuali dei due cannocchiali, che dev'esser stato scopo di una verifica anteriore, l'oggetto si trova pure al centro del reticolo del cannocchiale principale.

Anello oculare. — Si dà il nome di anello oculare alla immagine della superfice dell'oggetto data dall'oculare. La si osserva facilmente svitando l'obbiettivo, dirigendo il tubo verso la luce delle nubi, e collocando un piccolo schermo al di là dell'oculare; si trova così una posizione dove si forma un piccolo cerchio bianco; è appunto questo l'anello oculare. Gli è evidente che un raggio qualunque il quale abbia attraversato l'obbiettivo, deve passare per l'anello oculare; questo anello è situato in EE' (fig. 728), nella posizione dove s'incontrano i fasci che han dato l'immagine reale; gli è dunque in questo punto che conviene di porre l'occhio, se si vuole che questo approfitti di tutti raggi, ed abbracci la totalità del campo dell'istrumento. A tale scopo, il tubo porta-oculare si prolunga oltre l'ultima lente, ed è formato da una lamina, forata in corrispondenza, esattamente, all'anello oculare; gli è contro questa apertura che si adatta l'occhio.

777. Cannocchiale terrestre. — Il cannocchiale astronomico fornisce delle immagini capovolte, ciò che non reca alcun inconveniente nell'osservazione degli astri; l'inconveniente è invece assai grave quando si tratti dell'osservazione di oggetti terrestri. Per trasformare il cannocchiale astronomico in cannocchiale terrestre, nel quale le immagini sono diritte, si aggiunge, al di là del punto dove si forma l'immagine reale, un piccolo pezzo, detto veicolo, che porta due lenti O'' ed O''' (fig. 731) di ugual distanza focale. Dalla figura si scorge che l'immagine ab è riportata in $a'b'$, raddrizzata, ma senza alterazione nella grandezza. Gli è oltre $a'b'$ che vien posto l'oculare O', che fornisce l'immagine virtuale $A'B'$. Si vede che la trasformazione del cannocchiale astronomico in terrestre, non cambia l'ingrandimento; essa diminuisce però il campo, ed aumenta la lunghezza dell'istrumento, di tutta la distanza che separa a b da a' b'.

778. Cannocchiale di Galileo. — Quando non occorra un forte ingrandimento, si può far uso utilmente del cannocchiale immaginato da Galileo, cannocchiale che dà naturalmente delle immagini di-

ritte, con una lunghezza, a parità di ingrandimento, assai minore di quella del cannocchiale terrestre.

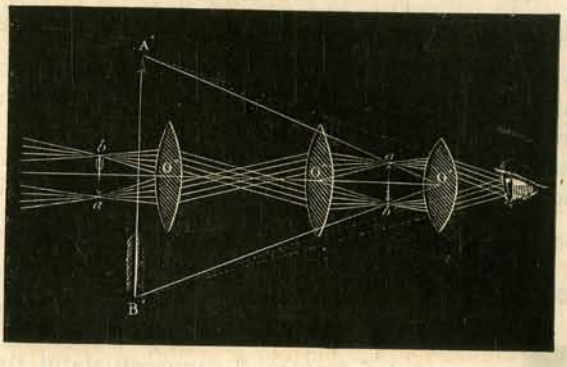


Fig. 731.

Nel cannocchiale di Galileo (fig. 732), si ha una lente obbiettiva O, ed un'oculare negativo, formato da una lente concava O'. I raggi 1 e 2, formanti i limiti del fascio che parte dall'estremo superiore dell'oggetto, andrebbero a formare in a l'immagine reale di questa estremità (A). Analogamente, il fascio limitato dai raggi 3 e 4, andrebbe a dare in b l'immagine reale della parte inferiore B. Ma, questi fasci incontrano la lente concava prima del loro punto di concorso reale. L'immagine a è riportata in A', sull'asse ottico

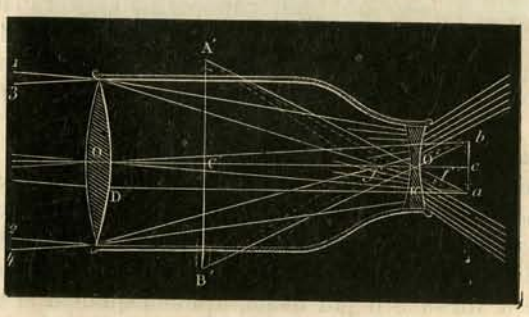


Fig. 732.

a O', e l'immagine b in B'. L'oculare essendo posto in una conveniente posizione, l'immagine virtuale A' B' si produce alla distanza della visione distinta; è appunto questa l'immagine percepita dall'occhio.

Ingrandimento. — Per apprezzare l'ingrandimento, faremo astra-

zione della distanza dell' occhio dall' oculare, e faremo notare che l'immagine è vista sotto l'angolo $A' O' B'$, o sotto il suo uguale $a O' b$, mentre l' oggetto è visto sotto l' angolo $a O b$. L' ingrandimento è dunque uguale ad $\frac{a O' b}{a O b}$. Siccome questi angoli sono piccoli, questo rapporto è approssimativamente uguale al rapporto della distanza di $a b$ dall'obbiettivo e dall'oculare. La distanza di $a b$ dall'obbiettivo è precisamente la distanza focale F dell' obbiettivo stesso; in quanto alla distanza di $a b$ dall'oculare, dimostriamo che, è pressa poco uguale alla distanza focale f dell'oculare; l'ingrandimento ha dunque, come nel cannocchiale astronomico, per espressione $\frac{F}{f}$.

Fig. 733.

Facciamo non pertanto osservare questa differenza, che, cioè, il cannocchiale astronomico si trova accomodato alla visione, quando la sua lunghezza è $F+f$, mentre il cannocchiale di Galileo lo è, quando questa lunghezza è $F-f$.

Cannocchiale da teatro. — Il cannocchiale di Galileo viene adoperato anche come cannocchiale da teatro. Negli istrumenti di questo genere, accuratamente costrutti, l'obbiettivo e l'oculare sono acromatici. L' obbiettivo è formato da una lente concava in flint, compresa fra due lenti convesse in crown (fig. 733). L'oculare, invece, è formato da una lente convessa in flint, compresa fra due lenti concave in crown. Generalmente si associano due cannocchiali, in modo da poter osservare con ambedue gli occhi; i tubi portanti gli oculari si muovano simultaneamente, con un meccanismo unico. L' apparecchio prende, in questo caso, il nome di *binoccolo.*

779. Telescopio. — Telescopio di Newton. — I telescopi differiscono dai cannocchiali in questo, che l'immagine obbiettiva vi è formata da uno specchio, invece che da una lente. Questa immagine viene poi osservata per mezzo di un' oculare, semplice o composto, al modo ordinario. Noi descriveremo solamente il telescopio di Newton, che è d' altronde il più usato, almeno quando si tratti di osservazioni astronomiche.

L' obbiettivo è uno specchio concavo (fig. 734), posto al fondo di un tubo, che vien diretto verso gli oggetti lontani. I raggi 1 e 2 da una parte, e 3 e 4 dall' altra, che limitano i fasci superiori ed inferiori, andrebbero a formare in $à b$, al fuoco F dello specchio, l'immagine capovolta dell'oggetto. Ma, prima ancora del loro incontro, questi raggi incontrano lo specchio piano M, che rigetta

l'immagine in $a' b'$, i punti a' e b' essendo, rispetto allo specchio M, i simmetrici di a e b. L'oculare O', trasforma questa immagine in un'immagine virtuale, ingrandita, $A' B'$.

Ingrandimento. — L'ingrandimento si esprime, in modo approssimativo, colla stessa espressione stabilita pel cannocchiale astronomico, e pel cannocchiale di Galileo. Infatti, l'immagine $a b$ sottenderebbe al centro dello specchio (O), che non si vede nella figura, un angolo $a O b$, che è appunto quello sotto il quale l'oggetto è visto direttamente; $a' b'$, che è a questo uguale, sottende in O' un angolo $a' O' B'$ uguale a quello sotto il quale è appunto vista l'immagine; l'ingrandimento è dunque dato da: $\frac{a' O' b'}{a O b}$, o, ciò che equivale sensibilmente, è uguale al rapporto tra la distanza di $a b$ dal centro, a quella di $a' b'$ dall'oculare. La prima distanza è la distanza focale F dello specchio; la seconda è, prossimamente, la distanza focale f dell'oculare, supposto semplice. L'ingrandimento è dunque dato da $\frac{F}{f}$.

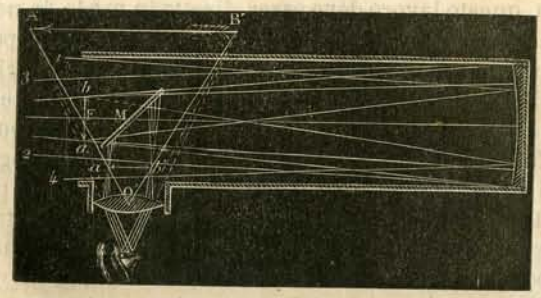


Fig. 734.

Il telescopio di Newton è montato su di un piede, alla stessa guisa di un cannocchiale, e munito del cercatore. La presenza dell'oculare alla estremità superiore del tubo, non è troppo comoda, e, per tal motivo, si fa, qualche volta, uso del telescopio di Gregory. In questo istrumento, lo specchio obbiettivo è forato al suo centro; i raggi, ricondotti da un piccolo specchio concavo, posto nell'asse dell'istrumento, vanno a formare l'immagine reale in vicinanza all'apertura del grande specchio; è appunto in questa apertura che si pone il tubo porta oculare. Il telescopio presenta così la forma generale dei cannocchiali, vale a dire che si osserva nel senso stesso dell'asse del tubo.

780. Telescopio a specchio inargentato. Lavori del signor Focault. — I te-

lescopi, comparati alle lenti acromatiche, presentano inconvenienti gravi, che li avevano fatti abbandonare quasi completamente, dal momento che si seppero fabbricare delle masse di flint, sufficienti per gli obbiettivi acromatici.

Da una parte, il metallo degli specchi, che è una spece di bronzo, sebbene abbia una rigidità speciale, superiore a quella dei metalli elementari che si potrebbero a ciò impiegare, non è però abbastanza rigido da non rendere necessario di dargli uno spessore conveniente, onde prevenire le flessioni; questo spessore deve anche accrescersi notevolmente, quando le dimensioni dello specchio divengono un po' ragguardevoli, ed allora, in causa dell'elevata densità della lega, il peso dello specchio diventa enorme. In secondo luogo, il potere riflettente dei metalli non è molto significante e, a parità di ingrandimento, le immagini ottenute con un rifrattore, sono assai più luminose di quelle fornite da un telescopio. Finalmente, il difetto il più grave consiste nell' alterazione progressiva della politura della superfice, sotto l'azione dell'aria. Man mano che questa politura diminuisce, la chiarezza dell'immagine diminuisce pure e, dopo un certo tempo, bisogna procedere ad un nuovo polimento. Ma, questo lavoro deve esser diretto in modo da non compromettere la forma curvilinea, sferica o parabolica, dello specchio; costituisce dunque un lavoro affatto identico al lavoro primitivo; lavoro difficile, delicato, e che deve esser ripetuto quante volte l'alterazione della politura lo esige. Malgrado questi inconvenienti, i telescopi furono, e sono ancora, adoperati, quando si vogliono ottenere degli ingrandimenti assai notevoli, allo scopo di poter osservare i dettagli degli oggetti celesti, nello studio dell'astronomia fisica. Ciò vuol dire che, se la costruzione di grandissimi cannocchiali, producenti un ingrandimento di più migliaja di volte, come quelli di W. Herscel o di lord Ross, è un' operazione estremamente difficile, non è però irrealizzabile, mentre invece, la fabbricazione di obbiettivi di un diametro superiore ai 75 od 80 centimetri, presenta delle difficoltà assolutamente insormontabili.

Verso il 1859 il signor Focault in Francia, ed il signor Steinheil a Monaco, proposero, nella costruzione degli specchi da telescopio, una modificazione, che costituisce una vera rivoluzione, e che permette di sostituire vantaggiosamente i telescopi ai rifrattori, in qualunque caso, e qualunque sia l' ingrandimento. Questa modificazione consiste nell'impiego degli specchi di vetro inargentati. Il vetro, più rigido della lega degli specchi e di una densità pressochè quattro volte piu debole, fornisce degli specchi molto più leggeri. L' argento lucido deposto alla sua superfice, possiede un potere riflettente assai considerevole, che si può valutare a 95 o 96

per 100 (1). Finalmente, e questo è il punto il più esenziale, se si è lavorata la superfice del vetro in modo da darle tutta la precisione possibile, questo lavoro riesce definitivo, giacchè, allorquando la pellicola d'argento si offusca, basta toglierla, e sostituirla con una nuova; e ciò tante volte, quante occorre.

In quanto al lavoro della superfice del vetro, il signor Focault ha fatto conoscere un metodo di esplorazione razionale, e di ritocchi locali, che permette di ridurre uno specchio approssimativamente lavorato coi metodi da officina, ad una forma strettamente parabolica. La descrizione di questo metodo, altrettanto preciso quanto originale, eccederebbe i limiti di un trattato elementare. Il lettore la troverà dettagliatamente nel tomo V degli *Annales de l'Observatoire.*

CAPITOLO VII.

CALOR RAGGIANTE

781. Irradiazione. — Quando due corpi a temperature differenti vengon posti in presenza l'uno all'altro, si produce fra loro, alla distanza più o meno grande che li separa, un disuguale scambio di calore; il corpo più caldo si raffredda, mentre l'altro si scalda, e, dopo qualche tempo, essi raggiungono la stessa temperatura. Gli è appunto a questa propagazione del calore a distanza, che si dà il nome di *irradiazione*, ed il calore che si trova in questa condizione fisica dicesi *calor raggiante.* È per irradiazione che noi raccogliamo il calore prodotto da un focolajo; è pure allo stesso modo, che ci giunge il calor solare attraverso allo spazio vuoto che ci separa da questo astro.

Quest' ultima circostanza ci mostra chiaramente come l' irradiazione è un fenomeno proprio di propagazione, indipendente dall'esistenza di qualunque mezzo ponderale; ciò non pertanto, siccome il *calor* solare è *luminoso*, si ha interesse a mostrare che il *calore oscuro* può pure propagarsi attraverso al vuoto.

Gli è appunto quanto mostrava Rumford colla seguente espe-

(1) Il signor Focault si serviva, per inargentare gli specchi, del processo Drayton, il di cui impiego è abbastanza delicato. Il signor Adolfo Martin, collaboratore del signor Focault, fece conoscere un processo di esecuzione assai più pronta e sicura. L'autore ne ha data la descrizione dettagliata nel tomo XV (4ª serie) degli *Annales de physique et de chimie.*

rienza: Costruiva egli un barometro (fig. 735), comunicante con un pallone, al centro del quale si trovava il serbatojo *a* di un termometro, saldato pel suo cannello alla parte superiore del pallone stesso. Questo costituisce così la camera barometrica dell'apparecchio, e si trova, per conseguenza, vuoto di qualunque materia ponderale.

Fig. 735.

Per mezzo del cannello ferruminatorio si rammolisce il tubo al disotto del pallone, cosichè, riesce possibile di isolarlo completamente; lo si immerge allora in una cassa contenente dell'aqua calda, e subito si vede il termometro indicare un'elevamento di temperatura, evidentemente superiore a quella che avrebbe potuto propagarsi, per comunicazione, attraverso alla saldatura del termometro. Le pareti del pallone irradiano dunque direttamente il calore attraverso allo spazio vuoto che le separa dal serbatojo *a*.

782. Il calore si propaga in linea retta. — In uno stesso mezzo l'irradiazione del calore accade in linea retta. Se, per esempio, fra un termometro ed una sorgente di calore, si dispone uno schermo munito di aperture tali che si possa, senza interruzione, tracciare nua linea retta, dalla sorgente al termometro, la temperatura di questo si eleva immediatamente; se le aperture cessano dall'essere in linea retta, il riscaldamento non ha più luogo, ed il calore vien intercettato dallo schermo

Si dà il nome di raggio di calore alla linea retta secondo la quale si effettua la propagazione, e si dice che, dai diversi punti di un corpo caldo, partono dei raggi di calore, che si propagano in linea retta. Facendo uso di tal linguaggio, sembra si adotti implicitamente l'ipotesi che il calore sia una spece di fluido sottile (calorico), accumulato nei corpi, che questi lanciano nello spazio, secondo tutte le direzioni possibili. Un raggio di calore sarebbe allora costituito dalla fila di molecole che si propagano secondo una certa direzione.

In fatto, la definizione del raggio di calore da noi data, è indipendente da qualunque ipotesi, e puramente esperimentale; essa è semplicemente l'espressione del fatto incontestabile della propagazione in linea retta. Qualunque sia il concetto che si addotti sulla natura del calore, bisognèrà necessariamente che questa propagazione rettilinea ne sia una conseguenza.

Oggigiorno si ammette generalmente che il calore sia, come la

luce, il risultato di un movimento vibratorio, che si trasmette nello spazio per mezzo di un fluido detto etere; in questa teoria, i raggi di calore sono precisamente le diverse linee concorrenti al centro di scuotimento, e secondo le quali questo si propaga attraverso all'etere.

783. Legge del raffreddamento. — La legge secondo la quale si raffredda un corpo posto in un ambiente di temperatura inferiore alla sua, è importante a conoscersi in un gran numero di esperienze, giacchè essa permette di tener conto delle quantità di calore perdute o guadagnate per irradiazione. Nel caso generale di un'eccesso di temperatura qualunque, la legge del raffreddamento riesce assai camplessa, e dipende, d'altronde, non solamente dal valore di questo eccesso, ma ben anche dalla natura e dalle condizioni fisiche del mezzo ambiente. Quando però l'eccesso di temperatura è mediocre, si può, con grande approssimazione, ed in qualunque caso, far uso della legge che porta il nome di *legge di Newton*: questa consiste nel fatto che, in ogni istante, *l'abbassamento di temperatura è proporzionale all'eccesso della temperatura del corpo che si raffredda, sulla temperatura ambiente.*

Ammettendo che questa legge sia vera, se ne deduce, col calcolo, la seguente conseguenza: *I tempi crescendo in progressione di aritmetica, le temperature decrescono in progressione geometrica.* Sotto questa forma la legge può verificarsi sperimentalmente, e si trova che essa è vera, quando la temperatura del corpo non sorpassa quella del mezzo che di 5° o 6°.

Quando si tratti di piccole variazioni di temperatura, si può sensibilmente ammettere che queste variazioni sono proporzionali alle variazioni corrispondenti della quantità di calore, dimodochè si può dare alla legge di Newton il seguente enunciato, spesso utilizzato: *La quantità di calore perduta da un corpo raffreddantesi, è, ad ogni istante, proporzionale all' eccesso della sua temperatura sulla temperatura ambiente.*

784. Apparecchi termoscopici adoperati nello studio del calor raggiante. — Lo studio del calor raggiante non può iniziarsi utilmente, che alla condizione di servirsi di un termometro assai sensibile. Leslie, a questo scopo, aveva immaginato, verso il principio di questo secolo, il termometro differenziale (256), mediante il quale egli eseguì ricerche assai importanti, i risultati generali delle quali non vennero in seguito contraddetti. Gli osservatori moderni, Melloni, Laprovostaye, ecc., hanno fatto uso esclusivamente del termo-moltiplicatore di Nobili, istrumento di sensibilità ben superiore a quella del termometro differenziale, e del quale sono orgni esenziali, il galvanometro, e la pila termoelettrica (535 e seguenti). Il termo-moltiplicatore, immaginato da Nobili, e perfezionato da Melloni, ha per

organo fondamentale una catena, formata di elementi, alternativamente di bismuto e di antimonio (fig. 736); se si riuniscono le estremità della catena con un filo, e si scaldano le saldature di un certo ordine, pari o dispari, lasciando le altre alla temperatura ordinaria, si produce una corrente termoelettrica. L'intensità di questa corrente aumenta, d'altra parte, col numero degli elementi, e colla differenza di temperatura delle saldature.

Fig. 736.

Nella disposizione immaginata da Melloni, gli elementi sono ripiegati gli uni sugli altri, in modo di costituire una massa parallelopipeda (fig. 737), della quale, una delle facce presenta tutte le

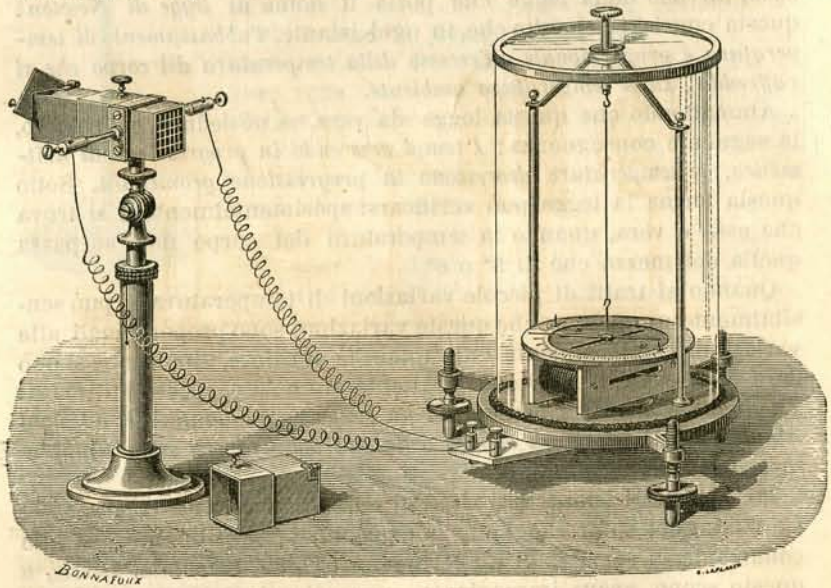


Fig. 737.

saldature di ordine pari, mentre la faccia a quella opposta, contiene tutte le saldature di ordine dispari. Il tutto è chiuso in un astuccio di ottone, munito alle sue estremità di opercoli, destinati a sottrarre, quando si vuole, le facce della pila alle azioni esterne. Le estremità della catena sono in relazione, per l'intermezzo di due asticine metalliche, coi due estremi del filo di un galvano-

metro, dimodochè, se si produce una corrente, il galvanometro ne svelerà la presenza. Una tavola fa conoscere l'intensità della corrente, corrispondente alle diverse deviazioni. Ne segue che, se un raggio di calore viene a battere sopra una delle facce della pila, si produrrà una corrente, l'intensità della quale si dedurrà dal galvanometro. Entro certi limiti, che non vengono mai d'altronde sorpassati nelle ricerche sul calor raggiante, l'intensità della corrente è proporzionale alla differenza di temperatura delle saldature. Quando dunque la pila termoscopica si sarà posta in equilibrio sotto la radiazione calorifica, essa riceverà, ad ogni istante, una quantità di calore, uguale a quella che perde per irradiazione; ma, quest'ultima essendo, dietro la legge di Newton, proporzionale all'eccesso della temperatura del corpo su quella dell'aria ambiente, vale a dire, alla differenza di temperatura delle saldature, ne segue, che l'indicazione termoscopica, ossia l'intensità della corrente prodotta, è proporzionale alla quantità di calore ricevuta dall'istrumento.

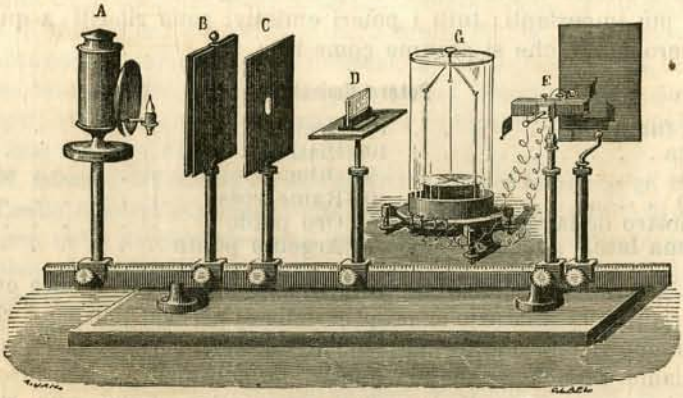


Fig. 733.

Si ha dunque, nell'apparecchio di Nobili, un termometro di una sensibilità assai grande ed affatto propria allo studio del calor raggiante; è in grazia di questo istrumento, che gli scienziati citati hanno potuto condurre questa parte della fisica ad un grado rimarchevole di progresso.

785. Emissione del calore. — Due corpi di ugual forma, di uguali dimensioni, ed alla stessa temperatura, ma di sostanze differenti, non emettono, in generale, la stessa quantità di calore, nello stesso tempo. Si dice perciò che hanno *poteri emissivi* diversi, e che i poteri emissivi di due corpi sono proporzionali alle quantità di calore che emettono, a parità di condizioni.

Onde misurare il potere emissivo, Melloni disponeva l'esperienza come segue. Su di un regolo metallico graduato (fig. 738), è posto un cubo, le di cui diverse faccie sono ricoperte di sostanze differenti. Questo cubo contiene dell'aqua, mantenuta in ebollizione per mezzo di una lampada ad alcool, posta nella parte cava del supporto. Ad una certa distanza è collocata la pila; degli schermi intermediari, permettono di arrestare, quando si vuole, l'irradiazione.

L'assieme del regolo, dei supporti destinati a sostenere la pila, degli schermi, ecc., costituisce ciò che dicesi *apparecchio di Melloni.*

Se si fanno irradiare successivamente verso la pila le diverse faccie del cubo, si otterranno delle correnti, le di cui intensità, nello stato di equilibrio, daranno precisamente la misura dei poteri emissivi delle rispettive sostanze che ricoprono le faccie del cubo.

Per mezzo di esperienze di questa natura, applicate a diverse sostanze, si è riconosciuto che il nero fumo è la sostanza che presenta il più alto potere emissivo, mentre i metalli presentano il potere emissivo il più debole. La tavola seguente fornisce i risultati i più importanti; tutti i poteri emissivi sono riferiti a quello del nero fumo, che si assume come 100:

Potere Emissivo.

Nero fumo	100	Acciajo	17
Biacca	100	Platino	17
Carta	98	Ottone polito	7
Vetro	90	Rame rosso	7
Inchiostro della China	85	Oro polito	3
Gomma lacca	72	Argento polito	3

786. Circostanze che influiscono sul potere emissivo. — Il potere emissivo risulta da una azione propria della superfice, giacchè, i risultati ottenuti, sono affatto indipendenti dalla natura interna del corpo irradiante. Ciononostante, con questa parola superfice, non bisogna intendere una spece di superfice matematica, bensì uno strato di un certo spessore; ciò è appunto nettamente dimostrato dall'esperienza seguente: Si copre una delle faccie del cubo di parecchi strati di vernice; ad ogni nuovo strato, si produce una variazione nel potere emissivo; ciò però non si osserva che fino ad un certo limite: a partire da un certo spessore, che è d'altronde assai piccolo, il potere rimane costante. Gli è dunque in un piccolo spessore della superfice del corpo, che si produce il movimento calorifico, suscettibile di trasmettersi per irradiazione. L'esperienza mostra che, a parità di circostanze, questa irradiazione è tanto più intensa, quanto più piccola è la densità di questo strato superficiale. Così, le operazioni che hanno per risultato la diminuzione o l'aumento di questa densità, produranno un effetto op-

posto sul potere emissivo. Per esempio, se si prende una lamina d'argento, o di rame, fuso, e la si scalfisce, il potere emissivo ne rimane diminuito, giacchè questa operazione ha compresso il metallo, ed ha perciò aumentata la densità media dello strato superficiale. Se si tratta invece di una lamina incrudita, la scalfitura ha per risultato di esporre gli strati interni, la di cui densità è minore di quella dello strato superficiale; si osserva infatti, in conseguenza di questa diminuzione, un'aumento nel potere emissivo.

In generale, i colori oscuri sembra presentino un potere irradiante maggiore dei colori chiari; ciò però non è assolutamente generale, infatti, dalla tavola precedente si rileva, che il potere emissivo della biacca è uguale a quello del nero fumo. Finalmente, il potere emissivo cambia colla temperatura. Laprovostaye e Desains stabilirono questo fatto, servendosi, come corpo irradiante, di lamina di platino, che si poteva portare ad una temperatura di 500° a 600°, coll'azione di una corrente elettrica. La lamina irradiava su due termomoltiplicatori differenti, colle sue due faccie opposte; una di queste era ricoperta di nero fumo, l'altra da una sostanza qualunque. Il rapporto delle indicazioni termoscopiche, dà, alle diverse temperature, il rapporto dei poteri emissivi delle due sostanze; si trova che questo rapporto, generalmente, è variabile, ma non sempre nello stesso senso.

787. Influenza dell'inclinazione dei raggi rispetto alla superfice che gli emette. — Leslie fece un'esperienza che mostra come, le quantità di calore emesse nelle diverse direzioni dalla stessa superfice, diminuiscono a misura che l'angolo formato dai raggi di calore colla faccia che li emette, diminuisce esso stesso.

Si può verificare facilmente questo risultato ottenuto da Leslie, coll'apparecchio di Melloni.

Tra la pila termoelettrica ed il cubo scaldato a 100°, si interpongono due o tre schermi metallici, presentanti un foro uguale a quella della pila, dimodochè, la faccia del cubo non abbia ad inviare verso la pila, che un fascio di calore perfettamente limitato.

Rivolta verso la pila la faccia coperta di nero fumo, la si dispone, dapprima perpendicolarmente al fascio, poi la si inclina, e si trova che la quantità di calore ricevuta dalla pila, è la stessa nei due casi. Ora, nel secondo caso, si ha un maggior nnmero di punti che irradiano verso la pila, ciascuno di essi manda dunque una minore quantità di calore. Se la faccia del cubo è ricoperta da un'altra sostanza diversa dal nero fumo, le quantità di calore ricevute nei due casi citati non sono più le stesse, ma la legge si verifica, ciononostante, come la si è enunciata, e l'influenza dell'inclinazione si rende pure manifesta.

788. Legge dei quadrati delle distanze. — Se si pone un termometro assai sensibile a distanze differenti da una sorgente di calore, si osservano degli eccessi di temperatura, tanto più deboli, quanto più grande è la distanza; ciò indica che l'intensità del calor raggiante diminuisce colla distanza. Tale risultato è evidente *a priori*, giacchè, se, per esempio, il calore è il risultato di un movimento, man mano che questo si propaga, si comunica a sfere di raggio successivamente crescenti, e, di conseguenza, l'intensità in un punto particolare, deve riescire di più in più debole. Si può, del resto, stabilire coll'esperienza la legge di questa variazione. Infatti, quando l'eccesso di temperatura del termometro si è reso stazionario, vuol dire che la quantità di calore che esso riceve, è uguale a quella che perde contemporaneamente per irradiazione; ma quest' ultima è, secondo la legge di Newton, proporzionale all' eccesso sulla tem-

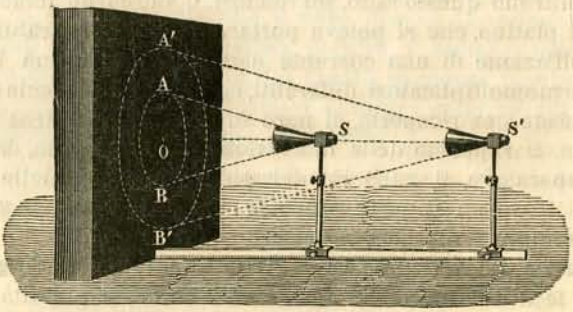


Fig. 739.

peratura ambiente; questo eccesso può dunque considerarsi come la misura del calore ricevuto. Ora, operando a diverse distanze, si constata che questi eccessi sono inversamente proporzionali ai quadrati delle rispettive distanze; si può dunque concluderne che *l'intensità del calore ricevuto da una sorgente, a diverse distanze, varia in ragione inversa dei quadrati delle distanze stesse.*

Un' esperienza assai ingegnosa, dovuta al signor Tyndall, fornisce un' altra dimostrazione di questa legge fondamentale. Si impiega, come termometro, la pila di Melloni, e si munisce (fig. 739) la sua superfice anteriore di un cono annerito all'interno, in modo da impedire qualunque riflessione di calore sulla superfice interna stessa. Si pone successivamente la pila in S ed S', dinanzi ad un vaso riempito di aqua bollente, e coperto di nero fumo sulla faccia che prospetta la pila. Ora, si osserva che, qualunque sia la distanza di questa dal vaso, l' indicazione termometrica rimane costante. Questo risultato dimostra appunto la legge dei quadrati delle distanze. Infatti, in seguito alla disposizione addottata, la pila, nella prima

posizione, riceve esclusivamente calore dalla superfice AB; alla seconda distanza il calore è fornito dalla superfice $A'B'$. Queste due superfici sono cerchi di raggi proporzionali alle distanze SO ed $S'O$; le superfici di questi cerchi sono dunque proporzionali ai quadrati delle distanze stesse. Ora, dal momento che, in definitiva, tali superfici inviano alla pila la medesima quantita di calore, ciò significa appunto, che l'intensità dell'irradiazione varia in ragione inversa del quadrato delle distanze SO ed $S'O$.

Si può pure concepire *a priori* la legge delle distanze, col seguente ragionamento. Si immagini un punto irradiante, e si descriva, intorno a questo punto come centro, una sfera; la totalità del calore verrà ricevuta da questa sfera, i di cui diversi punti proveranno un effetto calorifico determinato. Se si immagina una sfera di raggio doppio, la stessa quantità di calore verrà ricevuta dalla sua superfice, che è quattro volte più estesa di quella della prima sfera, e, di conseguenza, un elemento di superfice, di egual estensione di uno considerato sulla prima sfera, riceverà una quantità di calore quattro volte minore, ciò che è appunto conforme alla legge enunciata. Si osservi però, che la rigorosità di questa dimostrazione non è che apparente; giacchè essa suppone che il calore sia una spece di flusso effettivo, emesso dal punto irradiante. Nell'ipotesi che il calore sia uno scuotimento dell'etere, la dimostrazione dovrebbe venir modificata in modo tale, che essa perderebbe il carattere di semplicità, pel quale, certamente, la si vede indicata in tutti i trattati di fisica.

789. Legge della riflessione del calore. — Quando un raggio di calore incontra una superfice presentante un certo grado di levigatezza, si riflette secondo una direzione, sottoposta a leggi precise:

1.° Quando un raggio di calore vien riflesso da una superfice, la riflessione accade nel piano di incidenza;

2.° L'angolo formato dal raggio riflesso colla normale alla superfice nel punto di incidenza (angolo di riflessione), è uguale all'angolo fatto dal raggio incidente colla normale stessa (angolo di incidenza).

Queste leggi sono precisamente quelle della riflessione della luce; come si è visto, nel caso dei raggi luminosi, esse sono suscettibili di una verificazione assai rigorosa. Siccome, d'altronde, tutti i fenomeni in cui il calore e la luce si trovano associati, stabiliscono che la stessa legge si appiica ai raggi calorifici ed ai luminosi, si può ritenere che la dimostrazione fatta per la luce, sia applicabile anche al calore.

790. Specchi ustori. — Queste conclusioni teoriche vennero verificate da esperienze eseguite cogli *specchi ustori*. Si dà questo nome a specchi sferici concavi, disposti in modo da poter dirigere il loro

asse verso il centro del sole (fig. 740). Se, in queste circostanze, si pongono al fuoco dello specchio delle materie diverse, si può ottenerne, o la fusione, o la combustione, a seconda delle dimensioni dello specchio. Lo specchio di Tschirnhausen, costruito nel 1687, che aveva due metri circa di diametro, permetteva di fondere il rame, l'argento, e di vetrificare i mattoni. Buffon faceva uso, invece degli specchi curvi, di un sistema di specchi piani mobili, che venivano disposti in una posizione conveniente, onde i diversi fasci riflessi andassero ad incontrarsi nella stessa regione. Egli ottenne, in questo modo, degli effetti estremamente intensi, e potè, per esempio, infiammare del legno ad una distanza di 80 metri. Gli è senza dubbio con mezzi analoghi che Archimede pervenne a bruciare la flotta romana che assediava Siracusa. Questo fatto, tanto spesso raccontato, non è storicamente stabilito in modo certo; ma le esperienze citate provano che, in tal racconto, non avvi nulla di inverosimile.

Fig. 740.

791. Specchi conjugati. — Si trova una dimostrazione più esatta delle leggi della riflessione del calore nella celebre esperienza degli specchi conjugati, attribuita generalmente al signor Pictet di Ginevra.

Si pongono affacciati l'uno all'altro, ed a distanza abbastanza grande, due specchi sferici, i di cui assi hanno la stessa direzione; al fuoco principale di uno di questi specchi (fig. 741) si dispone un cestello di ferro, contenente del carbone acceso, ed al fuoco dell'altro, un corpo assai combustibile; dell'esca, o del fulmicotone, per esempio. Se, per mezzo di un soffietto, si attiva la sorgente calorifica, si vede, dopo poco tempo, infiammarsi, l'esca od il fulmicotone. Con specchi di 35 centimetri di diametro, l'esperienza può eseguirsi agevolmente ad una distanza di 10 metri.

Questa esperienza si spiega facilmente. I raggi partiti dal fuoco principale, dove si trova il corpo caldo, si riflettono parallelamente all' asse comune dei due specchi, e vanno, dopo la riflessione, ad incontrarsi al fuoco del secondo specchio, dove si trova il corpo combustibile.

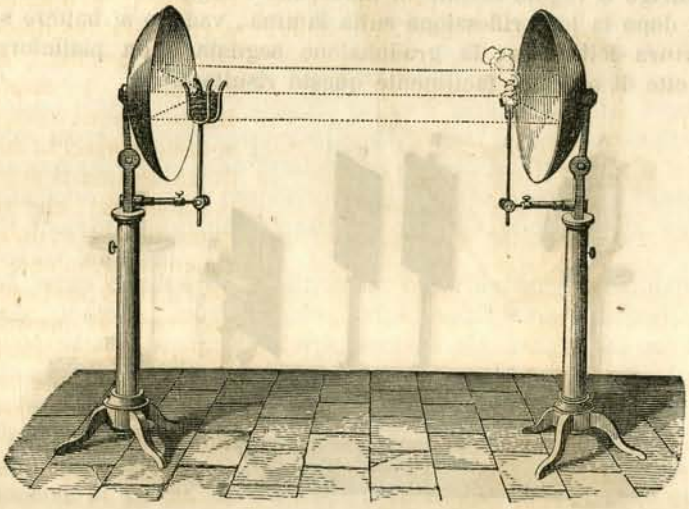


Fig. 741.

Il volume considerevole della sorgente calorifica impiegata, può far supporre assai poco precisa l' esperienza; ma, bisogna osservare, come non è che una piccola porzione di questa sorgente che agisce effettivamente; le altre parti sono semplicemente destinate a produrre una temperatura sufficientemente elevata nei punti di azione efficace. D' altronde, l'immagine di questa sorgente di calore, è estremamente piccola, ed è al punto dove essa si forma che si deve collocare il corpo combustibile. Se lo si collocasse di fianco, anche ad una piccolissima distanza, se si spostasse, anche di poco, l'uno o l'altro dei due specchi, l'infiammazione non avrebbe più luogo. L'esperienza, onde possa riescire, deve essere regolata con molta precisione; essa dunque costituisce effettivamente una dimostrazione sufficientemente rigorosa delle leggi della riflessione, che ne costituiscono il principio teorico.

792. Potere riflettente. — Il potere riflettente di un corpo è misurato dalla porzione di calore incidente che la sua superfice riflette regolarmente. Melloni da una parte, i signori Laprovostaye e Desains dall'altra, hanno studiato i poteri riflettenti, disponendo il termomoltiplicatore, come lo mostra la fig. 742.

In un punto *H* del regolo dell'apparecchio, si trova un supporto, portante una piattaforma circolare *D*, graduata. Un secondo regolo graduato *D'*, mobile a cerniera intorno all'asse stesso del supporto, porta l'apparecchio termoscopico *E*.

Sul supporto si dispone una lamina della sostanza da studiarsi, e si dirige il regolo mobile in modo, che i raggi emessi dalla lampada, dopo la loro riflessione sulla lamina, vadano a battere sull'apertura della pila; la graduazione segnata sulla piattaforma, permette di ottenere facilmente questo risultato.

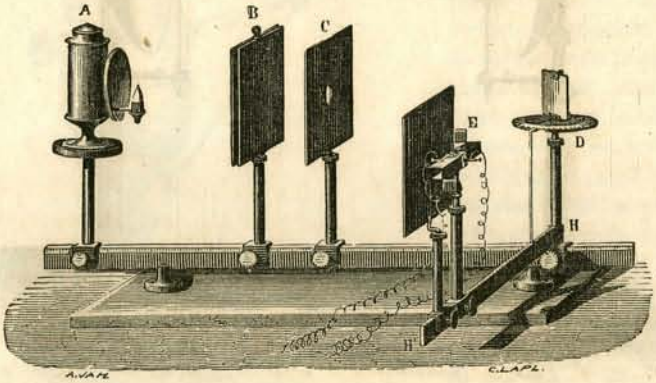


Fig. 742.

Per fare un'osservazione, si comincia dal disporre il regolo *D'* sul prolungamento del regolo principale, e si osserva l'intensità della radiazione diretta. Si pone, in seguito, la pila sul percorso del raggio riflesso, ed il rapporto tra l'intensità ottenuta in questo caso, e quella prodotta dal fascio diretto, dà la misura del potere riflettente.

Ecco qualche numero, ricavato dalle ricerche dei signori Laprovostaye e Dessains; la sorgente di calore adoperata era una lampada di Locatelli:

Potere riflettente.

Argento	0,97	Platino polito	0,80
Oro	0,95	Acciajo	0,83
Ottone	0,93	Zinco	0,81
Metallo da specchi	0,86	Ferro	0,77
Stagno	0,85		

Gli stessi osservatori hanno constatato che, nel caso di sostanze diatermiche, il potere riflettente varia notevolmente coll'incidenza, come accade anche pei raggi luminosi.

Pei metalli, questa influenza dell'incidenza, riesce assai minore;

così, il potere riflettente rimane pressochè costante fino ai 70° od 80°; per un'incidenza maggiore, esso diminuisce, contrariamente a quanto accade per le sostanze diatermiche.

Finalmente i signori Laprovostaye e Desains, hanno constato, contrariamente a quanto si era fin'allora supposto, che il potere riflettente varia colla natura della sorgente. Così, il potere riflettente dell'argento polito, che è 0,97 pei raggi della lampada Locatelli, cade a 0,92 pei raggi solari. Si vede che, in qualunque caso, il potere riflettente dell'argento polito è assai notevole; siccome, d'altra parte, da esperienze comparative assai numerose, risulta che, nelle radiazioni insieme luminose e calorifiche, il calore e la luce si riflettono in ugual proporzione, si intende qual sia il vantaggio degli specchi inargentati, usati da qualche tempo nella costruzione dei telescopi.

793. Potere diffusivo. — La diffusione è la riflessione irregolare del calore, prodotta, senza dubbio, dalla moltitudine di asperità che esistono alla superfice dei corpi, anche i più levigati. Si può assai facilmente constatare la realtà della diffusione. Basta, perciò, far cadere un fascio calorifico su di una lamina di una sostanza non polita, come il carbonato di piombo, per esempio. Ponendo la pila innanzi alla lamina, in una posizione qualunque, si osserva una deviazione al galvanometro. Gli è impossibile di attribuire questo effetto al riscaldamento della lamina; giacchè, da una parte, questo effetto è istantaneo e raggiunge immediatamente il suo massimo, mentre che, se provenisse dal riscaldamento, vi occorrerebbe un tempo abbastanza significante. D'altra parte, si può interporre sul cammino del calore diffuso una lamina diatermica, capace di fermare quasi completamente i raggi a bassa temperatura; una lamina di allume, per esempio, può servire allo scopo; non ne risulta in questo caso che uua debole diminuzione nell'indicazione data della pila, mentre, accadrebbe l'opposto, se questa indicazione avesse per origine il riscaldamento della lamina diffondente.

Il potere diffusivo delle materie non polite, specialmente se sono bianche, è assai notevole, come lo prova la seguente tavola, tolta dalle ricerche dei signori Laprovostay e Dessains:

Potere diffusivo.

Biacca	0,82
Polvere d'argento	0,76
Cromato di piombo	0,66

Si può così rendersi conto dell'intensità del calore che si prova in vicinanza di un muro bianco, rischiarato dal sole, sebbene si sia riparati dalle radiazioni dirette. Questa diffusione si fa, d'al-

tronde, in proporzioni variabili, secondo la direzione, ed è in vicinanza al fascio regolarmente riflesso, che questa proporzione è più grande.

L'intensità del fascio diffuso varia assai colla natura della sorgente, e si ha, in ciò, un'analogia assai spiccata colla diffusione della luce. Melloni poneva il fatto in evidenza nel modo seguente: Faceva cadere un fascio di calore su di una materia diffondente, distesa alla superfice di un disco di cartone assai sottile; sulla superfice opposta del cartone, era disteso uno strato di nero fumo. Quando l'equilibrio di temperatura era stabilito, si poneva, successivamente, la pila dinanzi allo strato diffondente, e dietro ad esso, dalla parte del nero fumo, in una posizione simmetrica. Si ottenevano così due indicazioni assai differenti. La prima proveniva, infatti, e dalla diffusione del calore, e dalla emissione della lamina scaldata; la seconda aveva per origine la sola emissione. Ora si constata che il rapporto di queste due indicazioni è assai diverso,

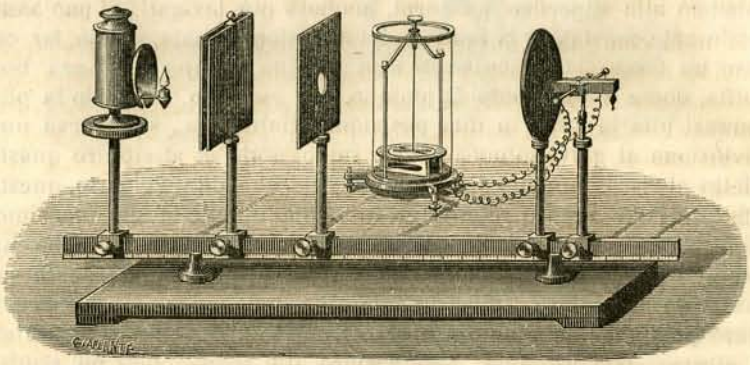


Fig. 743.

a seconda che si adopera una sorgente piuttosto che un'altra; in generale, la diffusione è, proporzionalmente, assai più forte per le radiazioni luminose, ed a temperatura elevata.

794. Potere assorbente. — Dicesi *potere assorbente* di una sostanza, il rapporto tra la quantità di calore assorbita da un corpo, e quella incidente. Il mezzo che si presenta naturalmente allo spirito per istudiare il potere assorbente, consisterebbe nel ricoprire di sostanze diverse la faccia della pila, esposta all'irradiazione, e nell'osservare le indicazioni corrispondenti. Ma questo processo ha il grave inconveniente di alterare continuamente la pila, che è un apparecchio assai delicato, e che, all'opposto, conviene di sottrarre, il più accuratamente possibile, a tutte le cause di alterazione. Melloni adoperava il processo seguente: Egli poneva dinanzi

alla pila un disco assai sottile, ricoperto, dalla banda della pila stessa, di nero fumo (fig. 743); dalla parte della sorgente, colla sostanza della quale si voleva studiare il potere assorbente. Sotto l'influenza dell'irradiazione, il disco si scaldava, ed irradiava esso pure verso la pila, in ragione della quantità di calore che aveva assorbito. Le indicazioni termoscopiche, al momento dell'equilibrio, sono dunque in relazione col potere assorbente, ma non ne sono la misura proporzionale, giacchè, da una esperienza all'altra, la superfice del disco cambia, e quindi, la quantità di calore che esso perde, e che è uguale a quello che riceve in virtù del potere assorbente della sostanza studiata, cambia essa pure.

Ecco la tavola contenente qualcuno dei risultati ottenuti, prendendo per sorgente di calore il cubo scaldato a 100°:

Potere assorbente.

Nero fumo	110	Inchiostro della China	85
Biacca	100	Gomma lacca	72
Colla di pesce	91	Metalli	13

Si vede che questi numeri sono gli stessi di quelli che rappresentano il potere emissivo delle stesse sostanze. Questo risultato è abbastanza naturale, giacchè, l'emissione e l'assorbimento, sono due fenomeni della stessa natura. Nell'uno e nell'altro si riscontra la modificazione impressa dalla superfice ad un flusso di calore, che tende a penetrare nel corpo, od a sortirne.

795. Influenza della natura della sorgente. — Il potere assorbente varia colla natura della sorgente irradiante. Melloni ha impiegato, per verificare questo importante fatto, le seguenti sorgenti di calore:

1.° La lampada di Locatelli, piccola lampada a livello costante, il di cui lucignolo è massiccio, ed ha la forma parallellepipeda. È questa una sorgente di calore dotata di una sufficiente costanza; gli è con questa lampada che vennero eseguite la maggior parte delle esperienze sulla diatermasia: la lampada Locatelli è rappresentata nella figura 743.

2. Il platino incandescente; è formato da una spirale di platino, sospesa al disopra di una lampada ad alcool (fig. 744) in modo da avvolgere, per così dire, la fiamma; il metallo si arroventa fortemente, ed è quasi esclusivamente a lui che si deve l'irradiamento, giacchè la fiamma, d'altronde appena visibile, è fornita di un potere irradiante assai debole.

3.° Il rame scaldato a 100° circa. Per ottenere questa sorgente, si fa uso di una lamina di rame ricurva (fig. 745), dietro alla quale si pone una lampada ad alcool.

4.° Il rame affumicato, scaldato a 100°. È un cubo (fig. 746) contenente dell'aqua bollente, simile a quello che serve nella misura dei poteri emissivi; si fa uso della faccia coperta di nero fumo.

Ripetendo con queste diverse sorgenti l'esperienza che serve alla misura del potere assorbente, si trova che questo potere è assai variabile colla natura della sorgente, e che, in generale, aumenta a misura che la temperatura della sorgente va diminuendo. Per constatare questo fatto importante, bisogna difendersi dall' effetto proveniente dall'intensità delle diverse sorgenti; giacchè, sarebbe facilissimo che il disco sottoposto all'esperienza, si scaldasse mag-

Fig. 744.

Fig. 745.

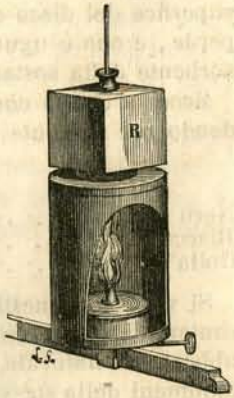


Fig. 746.

giormente sotto l' azione della lampada Locatelli, che non sotto quella del cubo a 100°. Perciò, si pongono le diverse sorgenti a distanze tali, che l'irradiazione diretta sulla pila, abbia lo stesso valore; gli è in queste posizioni, nelle quali esse inviano lo stesso flusso calorifico alla pila, che si fanno irradiare le sorgenti stesse sul disco. La seguente tavola contiene qualcuno dei risultati ottenuti da Melloni.

Sostanze	Lampada di Locatelli	Platino incandescente	Rame scaldato	Cubo a 100 gradi
Nero fumo	100	100	100	100
Inchiostro della China	96	95	87	85
Biacca	53	56	89	100
Colla di pesce . . .	52	54	64	91
Gomma lacca . . .	48	47	70	72
Superfice metallica.	14	13,5	13	13

Si vede, che, ad eccezione di quanto accade pell'inchiostro della China, i raggi a bassa temperatura sono assai più assorbibili dei raggi a temperatura elevata. Questa osservazione permette di ren-

dersi conto di alcuni fatti noti. Così, per esempio, si è osservato da molto tempo, che la neve fonde più rapidamente in vicinanza agli alberi che non a qualche distanza da essi. Ciò deve attribuirsi al fatto che, i rami, scaldati dal sole, costituiscono una sorgente di radiazioni oscure a bassa temperatura, e quindi assai più assorbibili dei raggi diretti del sole. Melloni ha confermato direttamente la giustezza di questa spiegazione: egli poneva una lampada Locatelli e del rame scaldato, ad una distanza tale dalla pila, che l'effetto galvanometrico delle due sorgenti fosse uguale; i due flussi calorifici avevano dunque la medesima intensità. Sostituendo alla pila un truogolo contenente della neve, constatò che questa fondeva assai più rapidamente sotto l'azione del rame, che sotto quella della lampada.

796. Uguaglianza dei poteri emissivi ed assorbenti. — Come si è stabilito, i corpi che irradiano più facilmente, sono pur quelli che assorbono meglio il calore; tutte le circostanze che fanno variare in un certo senso il potere emissivo, fanno variare nello stesso senso il potere assorbente; gli è dunque naturale di pensare, che queste due facoltà dei corpi sieno affatto identiche, vale a dire, che il potere emissivo sia uguale al potere assorbente. Si può del resto dedurre rigorosamente questa uguaglianza dall'esperienza seguente di Dulong.

Avendo egli posto un termometro in un pallone a superfice interna annerita, osservò il tempo che impiegava a raffreddarsi di un piccolo numero di gradi, quando la sua temperatura era superiore a quella dell'ambiente, per esempio, di 10°. Egli osservò anche il tempo che impiegava a riscaldarsi della stessa quantità, quando la temperatura dell'ambiente era di 10 gradi più bassa. Trovò che questo tempo era esattamente uguale al primo, e sarebbe ben difficile di interpretare un tal risultato, se tra il potere emissivo e l'assorbente della superfice del termometro esistesse una differenza notevole.

797. Potere diatermico. — La *diatermasia*, vale a dire la proprietà presentata da alcune sostanze di lasciarsi attraversare dal calore raggiante, non venne constatata in modo esplicito, che ad un'epoca ralativamente assai recente; si ammetteva il passaggio attraverso al vetro, per esempio, delle radiazioni fortemente luminose, come quella del sole, ma non si ammetteva, che lo stesso accadesse delle sorgenti *oscure*, od anche solamente poco luminose. Gli è in tal modo che si spiegava l'abitudine invalsa fra gli operai delle fonderie, per garantire gli occhi dall'azione troppo viva dei focolai, di guardare la materia in fusione attraverso ad una lamina di vetro.

Pictet di Ginevra, constatò pel primo l'elevamento di temperatura di un termometro, separato dalla sorgente di calore da una lamina

trasparente; si poteva però obbiettare che l'effetto osservato provenisse dal riscaldarsi della lamina. Prévost eliminò questa obbiezione in modo radicale; fece egli passare tra la sorgente ed il termometro un nappo d'aqua, ed anche vi interpose una lastra di ghiaccio (aqua solida); in questi casi il riscaldamento era impossibile, e, ciononostante, l'elevazione di temperalura del termometro accadeva ugualmente. Delaroche, tenendo il fatto per dimostrato, si studiò di variarne le condizioni, e giunse a leggi importanti.

Ciononpertanto, è a Melloni che la scienza va debitrice dei principali risultati che si riferiscono a questa parte della fisica. Gli è in grazia alla pila termoscopica che Melloni potè recare, in questo soggetto tanto delicato, una precisione che sembrava, per così dire, impossibile da realizzarsi, e gli studiosi che dopo di lui hanno esteso un po' le sue scoperte, hanno fatto esclusivamente uso di questo prezioso istrumento. Abbenchè i lavori importanti di Laprovostaye e Dessains abbiano avuto per risultato di recare qualche restrizione alle proposizioni formulate da Melloni, si può dire però che, nel loro assieme, esse debbono essere mantenute: ecco sommariamente le più importanti fra queste proposizioni.

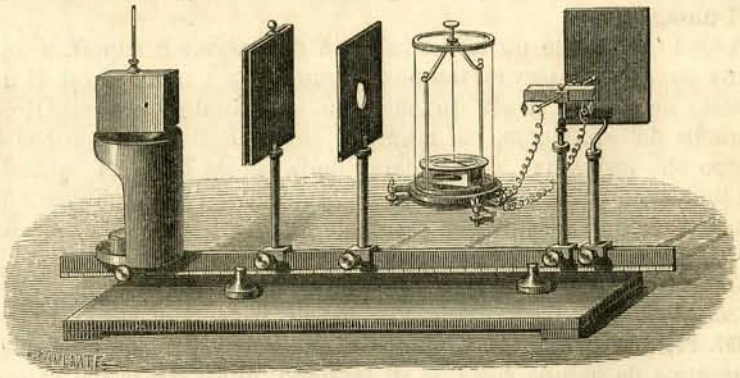


Fig. 747.

798. Influenza della natura della sostanza. — Per istudiare il potere diatermico di una sostanza solida, Melloni disponeva l'esperienza nel modo indicato dalla figura 747. La lampada di Locatelli *A*, può irradiare verso la pila, quando si abbassi lo schermo *B*; lo schermo *C* è munito di un'apertura destinata a limitare il fascio calorifico. Si incomincia dall'osservare l'irradiazione diretta; si nota la deviazione al galvanometro *G*, e l'intensità corrispondente della corrente. Si interpone quindi, sul cammino del fascio, la lamina

diatermica D, e si misura la nuova intensità della corrente; il rapporto di questa intensità alla prima, è l'espressione del potere diatermico.

Pei liquidi, Melloni impiegava dei piccoli truogoli, dei quali, le faccie perpendicolari al fascio erano formate da lamine assai sottili di vetro; si osservava il passaggio del fascio, prima attraverso al truogolo vuoto, poscia attraverso al truogolo stesso pieno; la differenza dei due effetti, misura l'azione propria del liquido. Ecco la tavola dei principali risultati:

CALORE TRASMESSO DA ALCUNE SOSTANZE
COLLA LAMPADA D'ARGAND

(*Il calore diretto è rappresentato da* 100)

Sostanze solide

Vetri incolori

(Spessore 1^{mm}, 88)

Flint	da 67 a 64
Vetro da specchi	da 62 a 59
Crown francese	58
» inglese	49
Vetro comune	da 54 a 50

Vetri colorati

(Spessore 1^{mm}, 85)

Violetto carico	53
» pallido	45
Bleu assai carico	19
Bleu carico	33
Bleu pallido	42
Verde minerale	23
Verde pomo	26
Giallo carico	40
Ranciato carico	44
Rosso giallastro	53
Rosso porpora	51

Sostanze liquide

(Spessore 9^{mm}, 21)

Liquidi incolori

Aqua distillata	11
Alcool assoluto	15
Etere solforico	21
Solfuro di carbonio	63
Essenza di terebenteno	31
Acido solforico puro	17
» nitrico »	15
Dissoluzione di sal marino	12
» d'allume	12
» di zucchero	12
» di potassa	13
» di ammoniaca	15

Liquidi colorati

Olio di noce (giallo)	31
» di colza (giallo)	30
» d'oliva (giallo verdastro)	30
» di garofano (giallo)	26
Cloruro di solfo (rosso bruno)	63
Acido pirolegnoso (bruno)	12
Bianco d'uovo (leggermente giallo)	11

CORPI CRISTALLIZZATI

(Spessore 3^{mm}, 62)

Incolori

Sal gemma	0, 92
Spato d'islanda	0, 12
Cristallo di rocca	0, 57
Topazio del Brasile	0, 54
Carbonato di piombo	0, 52
Borato di soda	0, 28
Solfato di calce	0, 20
Acido citrico	0, 15
Allume di rocca	0, 12

Colorati

Cristallo di Rocca affumicato (bruno)	57
Agata gialla	29
Tormalina verde	27
Solfato di rame (bleu)	0

Dall'ispezione di questa tavola si scorge che la diatermasia si incontra esclusivamente fra i corpi trasparenti, vale a dire la trasparenza pel calore e quella per la luce sembrano esistere simultaneamente. Ciò nonpertanto, queste due proprietà non sono assolutamente correlative; così, i corpi più diafani non sono necessariamente i più diatermici. Si vede, per esempio, che l'acido acetico, incoloro, è assai meno diatermico del cloruro di solfo, fortemente colorato; l'allume, perfettamente limpido, lascia passare assai meno calore dei vetri fortemente tinti, di ugual spessore. La diatermasia, pur essendo associata alla trasparenza, è dunque una proprietà distinta.

La sostanza che presenta il maggior potere diatermico è il sal gemma; esso lascia passare 0,92 del calore incidente. Il sal marino ordinario, non ne lascia passare che 0,12. La dissoluzione dell'una e dell'altra sostanza, offre lo stesso potere.

In questi ultimi anni, il signor Tyndall ha constatato che l'aria carica di vapor d'aqua è assai sensibilmente meno diatermica dell'aria secca. Per dimostrare questo fatto, egli fa passare un fascio calorifico in un tubo contenente dell'aria secca; l'indice del galvanometro devia di una certa quantità. Per mezzo di una sorgente di calore, agente in senso contrario, si riduce l'indice a zero. Si fa allora giungere del vapore d'aqua, o dell'aria umida, nel tubo, e si vede l'ago continuare il suo movimento nel senso retrogrado, in modo da indicare una diminuzione di calore trasmesso. Gli è in grazia del vapor d'aqua, sempre esistente nell'atmosfera, che i raggi solari diretti riescono notevolmente indeboliti; attraverso all'aria secca o, meglio ancora, attraverso al vuoto, il calore da essi proveniente, sarebbe eccessivo.

799. Influenza dello spessore. — Quando si fanno attraversare ad un fascio di calore delle lamine di una sostanza diatermica, di più in più spesse, l'intensità del calore trasmesso riesce man mano più piccola. Questo risultato è naturale; la diatermasia non è infatti una proprietà assoluta; si ha sempre una parte di calore assorbito, secondo una proporzione più o meno grande; è allora evidente che questo assorbimento deve crescere collo spessore.

Una sostanza, cinonpertanto, fa eccezione a questa regola; è il sal gemma. Qualunque sia lo spessore sul quale si è esperimentato, esso ha sempre lasciato passare il 0,92 del calore incidente. Non si può assicurare che lo stesso accadrebbe per spessori assai grandi, ma, rimanendo nei limiti delle esperienze fatte, si deve concludere che il sal gemma non esercita assorbimento alcuno. I 0,08 di perdita che prova il fascio, non possono dunque attribuirsi che alla riflessione, producentesi sulle due faccie della lamina.

Se, dopo che un fascio di calore ha attraversato una lamina diatermica di un certo spessore, lo si riceve su di una lamina identica, si trova che la perdita provata è meno sensibile; la perdita riescirebbe minore ancora, nel passaggio attraverso ad una terza, ad una quarta lamina, ecc. Questo fatto importante, scoperto da Delaroche e confermato da Melloni, costituisce la legge del *decrescimento delle perdite*. Esso non può spiegarsi se non ammettendo, che ogni fascio calorifico è formato dalla riunione di fasci elementari disegualmente assorbibili. Allora, man mano che lo spessore attraversato aumenta, il fascio iniziale si depura, per così dire; gli elementi i più assorbibili sono presto ridotti ad una piccolissima intensità, e non rimangono, man mano, che quelli di più facile trasmissione.

800. Influenza della natura della sorgente. — Questa eterogeneità dei flussi calorifici, come si è constatato, si estende al di là dello spettro luminoso. I raggi elementari di calore differiscono dunque gli uni dagli altri, come i raggi di luce, per la loro rifrangibilità; a ciascuna refrangibilità corrisponde una diversa facoltà di assorbimento.

Gli è una spece di colorazione calorifica che Melloni ha designata col nome di *diatermansia*. Da ciò si deve concludere, che le diverse sorgenti di calore, devono dar luogo a degli spettri differenti, e quindi, devono costituire dei fasci diversamente assorbibili; gli è appuuto quanto l'esperienza conferma nel modo il più deciso. Si fa uso, all'uopo, delle sorgenti calorifiche sopra descritte, e le si pongono a tale distanza dalla pila, che la radiazione diretta presenti sempre la stessa intensità. Si interpongono in seguito, sul tragitto dei fasci, dei corpi diafani, e si trova che la proporzione di calore trasmessa è differente da una sorgente all'altra; in generale, è tanto maggiore, quanto più elevata è la temperatura della sorgente.

Il sal gemma fa eccezione, come lo si doveva prevedere; qualunque sia la sorgente, esso lascia sempre passare i 0,92 del calore incidente.

Un'eccezione di un'altra spece si incontra nel sal gemma leggermente affumicato, il quale lascia passare più facilmente i raggi a bassa temperatura che i raggi a temperrtura elevata; finora è questa la sola sostanza che abbia presentato questo carattere.

La difficile trasmissione dei raggi a bassa temperatura, spiega come questa possa elevarsi tanto notevolmente in un vaso chiuso da una lamina di vetro, ed esposto al sole. I raggi solari, attraversano facilmente il vetro, scaldano le parti interne, e danno origine

a raggi oscuri, difficilmente trasmissibili (1). Gli è per la stessa ragione che gli appartamenti chiusi da invetriate esposte al sole, si scaldano tanto rapidamente (2).

Stà in ciò una almeno delle ragioni, dell' infedeltà delle indicazioni di un termometro esposto al sole. In estate, nei nostri climi, un termometro esposto al sole può accusare una temperatura superiore ai 50°; non è già questa la temperatura della località dove si trova il termometro; bensì è quella, invece, aquistata dal mercurio, per l'azione del vetro che lo racchiude.

Qualche cosa di analogo produce il vapore d'aqua atmosferico; esso attenua, come si è detto, gli effetti della radiazione solare; ma attenua pure gli effetti del raffreddamento, ritenendo nell' atmosfera il calore che, senza di ciò, andrebbe perduto negli spazi planetari.

801. Identità del calore e della luce. — I fenomeni ora descritti accusano ad una volta, una grandissima analogia nelle modificazioni che provano le radiazioni calorifiche e le radiazioni luminose, ed una spece di indipendenza fra queste due radiazioni, la quale, male interpretata, potrebbe condurre a conclusioni erronee. Si sbaglierebbe infatti, se si immaginasse che queste due sorta di radiazioni sono analoghe, ma *distinte;* che, per esempio, si abbia in un raggio solare, una parte luminosa ed una parte calorifica, sovrapposte, ma costituenti, in fondo, due cose differenti; la verità è appunto l'opposto. Se, infatti, si decompone, come lo hanno fatto i signori Masson e Jamin, un fascio di calore con un prisma di sal gemma, si ottiene uno spettro composto di due parti: l'una luminosa e calorifica, l'altra calorifica ed oscura, che si estende oltre il rosso. Se si considerano i raggi *semplici* della parte luminosa, si trova che la luce ed il calore loro, sono assorbiti parallelamente dai corpi diatermici colorati; che essi diminuiscono, e si estinguono insieme. Le vibrazioni prodotte dalla parte luminosa sono dunque capaci di agire contemporaneamente sul tatto e sulla retina, alla stessa guisa che una vibrazione sonora percepita dall' udito, può egualmente farsi sentire dalla mano; ma non è per ciò meno una vibrazione unica. In quanto alla parte oscura dello spettro, la sua assenza di

(1) Il signor Muchot approfittò di questa proprietà, nei suoi studi sulle applicazioni del calor solare all'industria: i raggi solari, concentrati da opportuni specchi curvi di metallo, vanno a battere sulla superfice annerita di una caldaja, rinchiusa in una, o più, campane di vetro; il calor oscuro emanato dalla caldaja, esce difficilmente attraverso il vetro, e l'aqua in essa contenuta, può giungere e mantenersi in ebollizione. Il signor Muchot ha, fra le altre applicazioni, presentata una macchina a vapore, tenuta in attività dal calor solare.

(2) Le serre si fondano sullo stesso principio.

NOTE DEL TRADUTTORE.

azione sulla retina deriva, forse, dal fatto che, i raggi poco rifrangibili che la costituiscono, sono assorbibili dall'aqua, e quindi dagli umori dell' occhio, e non possono perciò impressionare la retina.

È curioso di notare, però, che queste vibrazioni oscure possono generare delle vibrazioni luminose; nello stesso modo che quest'ultime, comunicandosi ai corpi per scaldarli, generano delle vibrazioni oscure. Ciò risulta dall'esperienza seguente del signor Tyndall. Si fa passare un fascio di luce solare attraverso ad una vaschetta, contenente una dissoluzione di iodio nel solfuro di carbonio; *tutti i raggi luminosi* vengono assorbiti, e non emerge che del calore oscuro. Si concentra questo calore per mezzo di uno specchio parabolico, al fuoco del quale si pone un corpo combustibile; per mezzo del calore oscuro concentratovi, il corpo può infiammarsi, rigenerando così del calor luminoso.

802. Rugiada. — Si dà il nome di rugiada alle goccioline d' aqua che si osservano alla mattina alla superfice delle piante, e che sono, sopratutto, abbondanti dopo le notti d'autunno e di primavera. La rugiada non cade; non è aqua formatasi nell'atmosfera; gli è in contatto stesso coi corpi, ed in seguito al raffreddamento che essa si produce. Infatti, quando il sole ha abbandonato l'orizzonte, i corpi, cessando dal ricevere calore dall' astro, irradiano verso lo spazio più calore di quanto ne ricevono contemporaneamente, e la loro temperatura si abbassa. Gli effetti di questa irradiazione notturna sono poi meglio sentiti dai corpi che costituiscono la superfice del suolo, l'erba, gli avanzi vegetali, ecc., che non dall' aria, la quale possiede un minor potere irradiante. Da questa circostanza nasce che, durante la notte, non solamente la superfice del suolo si raffredda, ma ben anche si raffredda notevolmente al disotto dell'aria dell'ambiente.

Questa differenza di temperatura venne pienamente verificata dall'esperienza; essa può raggiungere da 8° a 10°, ed è appunto la causa della rugiada. Infatti, il raffreddamento graduale dei corpi, conduce, per comunicazione, quello degli strati dell'aria ambiente; la saturazione può dunque aver luogo, ed un nuovo progresso nel raffreddamento, determina la condensazione del vapore. Se il raffreddamento notturno del suolo raggiunge o sottopassa lo zero, la rugiada si congela, e si ha così la *brina*.

Dietro questa teoria, altrettanto semplice quanto rigorosa, si vede, che un corpo dovrà coprirsi di una quantità di rugiada altrettanto più notevole, quanto più il suo potere emissivo è grande; gli è appunto ciò che l'esperienza conferma.

Il modo di esposizione ha pure una grande influenza; se il corpo è riparato, più o meno completamente, lo scambio per irra-

diazione verso le parti superiori, e quindi le più fredde, dell'atmosfera, sarà intercettato in parte, ed allora il raffreddamento riescirà minore.

Gli è per questo motivo che i giardinieri elevano, al disopra delle piante che vogliono preservare dalla brina, dei leggeri ripari, i quali non avrebbero alcuna efficacia, se si trattasse di garantirle dal freddo esterno. Le nubi, sopratutto quando si trovano nella regione zenitale, agiscono come ripari di questo genere; perciò la rugiada è poco abbondante quando il cielo è coperto.

Una leggera agitazione dell'aria favorisce il deposito della rugiada, giacchè i diversi strati d'aria vengono successivamente a spogliarsi della loro umidità; ma, se il vento è intenso, la saturazione non ha il tempo di prodursi, e la rugiada riesce assai poco abbondante. Essa è affatto nulla quando si incontrano le due circostanze, di un cielo coperto, e di un vento più o meno intenso.

FINE.

INDICE

Prefazione . . . . . Pag. V

NOZIONI GENERALI.

CAPITOLO I — *Definizioni* = Origine della fisica — Metodo sperimentale — Fenomeno — Legge fisica — Teoria fisica — Divisione della fisica generale. Pag. 1

CAPITOLO II — *Costituzione dei corpi — Proprietà generali* = Diversi stati della materia — Costituzione molecolare — Impenetrabilità — Porosità — Permeabilità — Divisibilità — Atomi, molecole — Compressibilità — Elasticità — Inerzia — Forza — Manifestazioni dell'inerzia — Mobilità — Moto relativo. Pag. 7

CAPITOLO III — *Sul moto in generale* = Meccanica — Movimento rettilineo e curvilineo di un punto — Moto uniforme — Velocità media — Moto vario — Moto uniformemente vario — Elementi della forza — Risultante — Parallelogrammo delle forze — Composizione delle forze concorrenti — Composizione delle forze parallele — Composizione di un numero qualunque di forze parallele — Decomposizione delle forze — Lavoro di una forza — Moto di rotazione — Velocità angolare — Forza centrifuga — Diversi effetti della forza centrifuga — Leggi sulle variazioni della forza centrifuga — Schiacciamento della terra. Pag. 16

APPENDICE ALLA MECCANICA.

CAPITOLO IV — *Moto* = Quiete e moto — Forza — Trajettoria — Spazio — Moto uniforme — Leggi del moto uniforme — Moto uniformemente vario — Rappresentazione grafica delle leggi di un moto — Moto di rotazione — Composizione dei movimenti . . . . . Pag. 31

CAPITOLO V — *Delle forze* = Elementi di una forza — Forze istantanee e continue, costanti e variabili — Resistenze al moto — Misura dell'effetto di una

forza costante — Rappresentazione grafica delle forze — Composizione e scomposizione delle forze — Forze agenti sui sistemi rigidi — Composizione di due forze parallele — Coppia di forze parallele — Equilibrio — Momento di una forza rispetto ad un punto — Forza centrifuga — Lavoro di una forza — Potenza e resistenza — Cavallo vapore — Forza viva . . . . . Pag. 41

CAPITOLO VI — *Macchine semplici* = Leva — Carrucola o puleggia fissa — Carrucola o puleggia mobile — Tornio — Piano inclinato — Discesa lungo una curva — Vite — Cuneo — Combinazione di leve — Combinazioni di carrucole mobili — Combinazioni di tornì — Considerazioni generali sulle macchine. Pag. 56

LIBRO PRIMO.

PARTE PRIMA — GRAVITA'.

CAPITOLO I — *Gravità — Centro di gravità* = Direzione della gravità — Punto d'applicazione della gravità — Centro di gravità — Definizione fisica del centro di gravità — Equilibrio di un corpo sostenuto da un asse o per un punto fisso — Equilibrio di un corpo appoggiato per un punto su di un piano orizzontale — Metodo pratico per determinare il centro di gravità di un corpo. Pag. 72

CAPITOLO II — *Legge della caduta dei corpi* = Leggi della caduta dei gravi — Macchina d'Atwood — Velocità — Formole relative alla caduta dei corpi — Forza costante — Proporzionalità delle forze alle velocità — Massa dei corpi . . . . . Pag. 80

CAPITOLO III — *Pendolo* = Pendolo semplice — Leggi sperimentali del movimento del pendolo — Pendolo semplice corrispondente — Determinazione di g. — Variazione dell'intensità della gravità — Influenza della forza centrifuga — Gravitazione universale . . . . . Pag. 91

CAPITOLO IV — *Bilancia* = Esattezza della bilancia — Sensibilità della bilancia — Sospensione dei piatti — Densità — Determinazione della densità. Pag. 97

PARTE SECONDA — IDROSTATICA.

CAPITOLO V — *Principi di Idrostatica* = Trasmissione delle pressioni — Direzione delle pressioni — Principio di Pascal o dell'uguaglianza di trasmissione delle pressioni in tutti i sensi — Principio fondamentale dell'equilibrio nei liquidi pesanti — Strati di livello — Superfice libera — Pressione sul fondo dei vasi — Esperienza dei vasi di Pascal — Pressione dal basso in alto — Pressione totale — Paradosso idrostatico — Composizione delle pressioni — Movimento prodotto dall'efflusso di un liquido — Centro di pressione . . . . . Pag. 108

CAPITOLO VI — *Principio d'Archimede* = Spinta — Dimostrazione sperimentale del principio d'Archimede — Corpi immersi in un liquido — Diavolo di Cartesio — Posizione relativa del centro di gravità e del centro di pressione — Necessità di abbassare il centro di gravità — Fenomeni in apparente contraddizione col principio d'Archimede — Liquidi sovrapposti . . . Pag. 120

CAPITOLO VII — *Applicazione del principio d' Archimede alla misura delle densità — Areometri* = Misura del peso specifico — Bilancia od areometro di Nicholson — Areometro di Fahrenheit — Areometri — Pesa sali e pesa spiriti di Baumé-Densimetri, volumetri — Alcoometro centesimale di Gay-Lussac. Pag. 129

CAPITOLO VIII — *Vasi comunicanti* = Equilibrio dei liquidi nei vasi comunicanti — Livello ad aqua — Livelletta a bolla d'aria — Equilibrio di due liquidi in vasi comunicanti — Capillarità — Fenomeni generali — Circostanze che influiscono sull' elevamento e sulla depressione capillare — Legge dei diametri — Causa dei fenomeni capillari — Endosmosi — Dialisi — Diffusione. Pag. 136

CAPITOLO IX — *Barometro* = Peso dell'aria e dei gas — Esperienza d'Ottone di Guéricke — Pressione atmosferica — Esperienza di Torricelli — Pressione di un' atmosfera — Esperienza di Pascal — Barometro — Barometro di Fortin — Correzioni dell'altezza barometrica — Barometri ordinari — Barometri metallici od aneroidi — Misura delle altezze col barometro — Variazioni diurne del barometro — Variazioni irregolari del barometro — Andamento inverso del barometro e del termometro — Carte sinottiche dell'osservatorio . Pag. 144

CAPITOLO X — *Legge di Mariotte* = Differente compressibilità dei diversi gas — Esperienze di Regnault — Manometri — Manometro ad aria compressa — Manometri metallici — Mescolanze dei gas — Dissoluzione dei gas nell'aqua. Pag. 163

CAPITOLO XI — *Macchina pneumatica — Macchina di compressione* = Macchina pneumatica — Provino — Robinetto di accesso dell'aria — Macchina a doppio effetto — Macchina a doppio effetto ad un sol cilindro — Diverse esperienze eseguibili colla macchina pneumatica — Limite dell'azione della macchina pneumatica — Macchina di Geissler — Macchina di compressione — Pompa di compressione — Compressione dell'aria pell'industria — Applicazioni della macchina pneumatica e dell'aria compressa . . . . . Pag. 174

CAPITOLO XII — *Spinta dell'aria* = Baroscopio — Areostati — Forza ascensionale — Teoria dell'areostato . . . . . Pag. 193

CAPITOLO XIII — *Delle pompe* = Principio dell'ascensione dell'aqua nelle pompe — Pompa aspirante — Condizione necessaria onde l' aqua possa arrivare nel corpo di pompa — Forza necessaria per sollevare lo stantuffo — Cause di perdita di lavoro motore nelle pompe — Movimento dello stantuffo — Pompa premente — Pompa d'incendio — Pompa aspirante premente — Pompa a doppio effetto — Pompe rotative — Torchio idraulico . . . . . Pag. 199

CAPITOLO XIV — *Efflusso dei liquidi* = Principio di Torricelli — Portata — Getti d' aqua — Efflusso di un liquido in comunicazione con una massa d' aria limitata — Fontana intermittente — Sifone — Caricamento del sifone — Vaso di Tantalo — Bottiglia Mariotte . . . . . Pag. 209

LIBRO II.

CALORE.

CAPITOLO I — *Del Termometro* = Calore — Freddo — Temperatura — Dilatabilità — Idea generale del termometro — Scelta della sostanza termometrica — Costruzione del termometro a mercurio — Determinazione dei punti fissi — Scale termometriche — Dilatazione apparente del mercurio — Grado termometrico — Comparabilità dei termometri a mercurio — Spostamento dello zero — Sensibilità del termometro — Termometro a peso — Termometro ad alcool — Termometro a massima ed a minima — Termometro a versamento di Walferdin — Termometri metallici — Pirometro di Brongniart — Termometro differenziale . . . . . Pag. 218

CAPITOLO II — *Dilatazione* = Binomio di dilatazione — Coefficiente di dilatazione — Dilatazione cubica, lineare, superficiale — Formole diverse — Influenza della temperatura sul peso specifico — Dilatazione dei solidi — Esperienza di Laplace e Lavoisier — Pendolo a compensazione — Potenza di dilatazione dei solidi — Conversione del calore in lavoro meccanico — Dilatazione dei liquidi — Relazione tra la dilatazione apparente e la dilatazione assoluta — Dilatazione del vetro — Dilatazione di un liquido qualunque — Massimo di densità dell'aqua — Dissoluzioni saline — Dilatazione assoluta del mercurio — Dilatazione del ferro e del platino — Moti convettivi nei liquidi — Riscaldamento per circolazione d'aqua calda — Correnti marine — Dilatazione dei gas — Esperienza di Gay-Lussac — Esperienze di Regnault — Termometro ad aria — Densità dei gas — Misura della densità dei gas — Peso di un litro d'aria — Tirata dei camini — Stufe calorifere . . . . . Pag. 234

CAPITOLO III — *Fusione e solidificazione* = Fusione — Costanza della temperatura durante la fusione — Calore di fusione del ghiaccio — Dissoluzione — Mescolanze refrigeranti — Solidificazione — Calore sviluppato nella solidificazione — Cristallizzazione — Fiori di ghiaccio — Sursaturazione — Cambiamento di volume al momento della solidificazione — Forza espansiva del ghiaccio — Influenza della pressione sul punto di fusione — Regelo — Plasticità del ghiaccio . . . . . Pag. 258

CAPITOLO IV — *Evaporazione* = Passaggio allo stato di vapore — Vapori e gas — Forza elastica dei vapori — Tensione massima — Influenza della temperatura sulla tensione massima — Tensione massima del vapor d'aqua — Curve di tensione — Formole empiriche — Tensione dei vapori di liquidi diversi — Mescolanze dei gas e dei vapori — Liquefazione dei gas — Metodo di Faraday — Calore di vaporizzazione — Freddo prodotto coll'evaporazione — Esperienza di Leslie — Crioforo — Congelazione dell'aqua coll'evaporizzazione dell'etere — Solidificazione del mercurio per mezzo dell'acido solforoso — Apparecchio Carrè — Liquefazione dei gas permanenti — Calore sviluppato nella condensazione . . . . . Pag. 272

CAPITOLO V — *Ebollizione* = Leggi dell'ebollizione — Teoria dell'ebollizione — Influenza della pressione sulla temperatura del punto di ebollizione — Esperienza di Franklin — Apparecchio di Derosne e Cail — Ipsometro — Pentola di Papin — Temperatura di ebollizione delle dissoluzioni saline — Dell'influenza dei gas disciolti sul punto di ebollizione — Stato sferoidale — Congelazione dell'aqua e del mercurio in un liquido allo stato sferoidale — Distillazione — Distillazione dei liquidi alcoolici — Circostanze che favoriscono l'evaporazione . . . . . Pag, 288

CAPITOLO VI — *Misura della tensione massima e della densità dei vapori* = Apparecchio di Dalton — Modificazioni di Raguault — Misura della tensione massima del vapore a temperature superiori a 50° — Densità dei vapori — Processo di Dumas — Metodo di Gay-Lussac — Volume di vapore formato da un dato peso d'aqua . . . . . Pag. 305

CAPITOLO VII — *Igrometria e Meteorologia* = Stato igrometrico — Igrometri d'assorbimento — Igrometro di Saussure — Graduazione dell'igrometro — Costruzione della tavola dell'igrometro — Igrometri a condensazione — Igrometro Leroy — Igrometro di Daniell — Igrometro di Regnault — Psicrometri — Igrometro chimico — Peso di un dato volume d'aria umida — Relazione tra i volumi di una stessa massa d'aria, satura a temperature e pressioni differenti — Temperatura dell'aria — Temperatura media di un luogo — Linee isotermiche — Estremi di temperatura — Climi marini e climi continentali — Temperatura a diverse profondità — Calore centrale del globo — Decrescimento della temperatura coll'altezza — Venti — Cause dei venti — Brezze — Venti alisei — Monsoni — Meteore aquee — Nubi e nebbia — Forma delle nubi — Cause della formazione delle nubi o della nebbia — Pioggia — Neve — Grandine — Ghiacciuolo — Nevischio . . . . . Pag. 312

CAPITOLO VIII — *Conduttività* = Conduttività dei metalli — Lampada dei minatori — Applicazioni diverse — Misura della conduttività — Conduttività dei liquidi — Misura della conduttività dei liquidi — Conduttività dei gas — Pentola automatica — Conduttività dell'idrogeno . . . . . Pag. 339

CAPITOLO IX — *Calorimetria* = Quantità di calore — Calor specifico — Metodo del pozzo di ghiaccio — Metodo delle mescolanze — Apparecchio di Regnault — Osservazioni intorno al calor specifico dell'aqua — Legge di Dulong e Petit — Calor specifico dei gas — Calorie di fusione — Calorie di vaporizzazione — Esperienze di Regnault — Calore sviluppato dalle combinazioni chimiche — Calore animale . . . . . Pag. 348

CAPITOLO X — *Teoria meccanica del calore* = Sorgenti di calore — Relazione tra il calore ed il lavoro meccanico — Calore sviluppato nell'attrito — Equivalente meccanico del calore — Applicazione alla macchina a vapore — Applicazione al calor animale — Calore sviluppato nelle combinazioni chimiche — Calore solare. . . . . Pag. 362

CAPITOLO XI — *Macchine a vapore* = Macchine termiche — Macchine a vapore — Principio della macchina a doppio effetto — Distribuzione del vapore —

Movimento del cassetto — Pompa di esaurimento del condensatore — Regolatore a forza centrifuga — Utilità del volante — Descrizione generale della macchina Watt — Espansione del vapore — Eccentrico per l'espansione — Sistemi diversi di macchine fisse — Locomobili — Caldaje — Caldaje a focolare interno — Esplosione delle caldaje — Apparecchi di sicurezza — Indicatore magnetico — Alimentazione delle caldaje — Injettore Giffard — Locomotive — Idea generale della locomotiva — Calcolo della velocità e della forza di trazione — Descrizione della locomotiva Stephenson — Coulisse di Stephenson — Tipi di locomotive . . . . . Pag. 369

LIBRO III.

MAGNETISMO — ELETTRICITA'

PARTE PRIMA — MAGNETISMO

CAPITOLO I — *Delle calamite* = Calamite naturali ed artificiali — Costituzione generale delle magneti — Spettro magnetico — Curve d'intensità — Ago magnetico — Declinazione — Inclinazione — Azione reciproca dei poli — Magnetizzazione per influenza — Esperienza della calamita spezzata . . . Pag. 392

CAPITOLO II — *Forma direttrice del globo* = La forza che orienta l'ago magnetico è puramente direttrice — Bilancia magnetica — Misura della declinazione — Misura dell'inclinazione — Variazioni della declinazione e dell'inclinazione — Bussola — Processi di magnetizzazione — Azione del magnetismo su tutti i corpi . . . . . Pag. 397

PARTE SECONDA — ELETTRICITA'.

CAPITOLO III — *Primi fenomeni elettrici* = Fenomeni fondamentali — Corpi buoni e cattivi conduttori dell'elettricità — Ipotesi sull'elettricità — Stato elettrico di due corpi strofinati tra di loro — Leggi delle attrazioni e delle ripulsioni elettriche . . . . . Pag. 403

CAPITOLO IV — *Elettrizzazione per influenza — Distribuzione dell'elettricità sui corpi conduttori* = Elettrizzazione per influenza — Attrazioni e ripulsioni elettriche — Scintilla — Elettroscopi — Bilancia di Coulomb — Leggi delle ripulsioni elettriche — Legge delle cariche elettriche — Distribuzione dell'elettricità alla superfice dei conduttori — Metodo di esperimentazione — Potere delle punte — Disperdimento dell'elettricità . . . . . Pag. 412

CAPITOLO V — *Macchine elettriche* = Macchina di Ramsden — Carica limite della macchina — Macchina di Nairne — Macchina Winter — Macchina idroelettica — Macchina di Holtz — Elettrofori — Elettroforo a rotazione di Bertsch . . . . . Pag. 424

CAPITOLO VI — *Esperienze diverse eseguibili colla macchina elettrica* = Scintilla elettrica — Pennacchi luminosi — Scintille nei gas rarefatti — Colore della scintilla — Moltiplicazione della scintilla elettrica — Proprietà fisiologiche della

scintilla — Elettrizzazione del corpo umano — Proprietà meccaniche e fisiche della scintilla — Proprietà chimiche della scintilla — Vento ed arganetto elettrico . . . . . Pag. 457

CAPITOLO VII — *Condensazione elettrica* = Condensatori — Scoperta di Cuneus — Bottiglia di Leyda — Scariche secondarie — Scarica successiva del condensatore — Potere condensante — Influenza della lamina isolante — Polarizzazione delle sostanze dielettriche — Elettroscopio condensatore — Giare e batterie elettriche — Figure di Leichtemberg . . . . . , Pag. 450

CAPITOLO VIII — *Effetti prodotti dalla scarica dei condensatori* = Scarica delle batterie — Riscaldamento dei fili metallici — Ritratto di Franklin — Velocità di propagazione dell'elettricità — Resistenze relative — Effetti meccanici — Effetti calorifici . . . . . Pag. 465

CAPITOLO IX — *Elettricità atmosferica* = Analogia tra il fulmine e la scintilla elettrica — Esperienza di Dalibard — Scampanio elettrico — Teoria dell' uragano — Lampo — Lampo sferico — Tuono — Contraccolpo — Parafulmini — Costruzione del parafulmine — Elettricità ordinaria dell'atmosfera — Cause dell'elettricità atmosferica — Formazione degli uragani — Grandine — Trombe. Pag. 470

CAPITOLO X — *Della pila e delle correnti* = Corrente — Elemento reomotore o produttore di corrente — Senso della corrente — Pila — Teoria di Volta — Pila a colonna — Pila a corona di tazze — Pila a truogoli — Pila di Wollaston — Pila di Muncke — Inconvenienti delle pile ordinarie — Pila Daniell — Pila di Bunsen — Proprietà dello zinco amalgamato — Pila a bicromato di potassa — Correnti termoelettriche — Senso della corrente termoelettrica — Potere termoelettrico — Pile termoelettriche — Applicazione delle correnti termoelettriche alla misura delle temperature — Effetti della pila — Effetti fisiologici. Pag. 482

CAPITOLO XI — *Effetti magnetici della corrente — Galvanometro — Resistenza — Intensità della corrente* = Esperienza di OErstedt — Legge di Ampére — Bussola dei seni — Bussola delle tangenti — Galvanometro — Galvanometro a due aghi — Graduazione del Galvanometro — Legge di Ohm — Elementi che influiscono sulla resistenza — Leggi dell'intensità di una corrente in un circuito omogeneo — Lunghezza ridotta — Resistenza totale di un circuito eterogeneo — Misura delle resistenze specifiche — Intensità della corrente di una pila — Misura delle forze elettromotrici . . . . . Pag. 499

CAPITOLO XII — *Elettrodinamica* = Azioni mutue delle correnti — Azione di una corrente circolare su di una corrente finita, mobile intorno alla sua estremità — Azione di una corrente rettilinea indefinita su di una corrente finita, mobile intorno alla sua estremità — Azione di una corrente rettilinea indefinita sopra una corrente finita perpendicolare alla sua direzione — Correnti sinose — Azione della terra sulle correnti — Solenoidi — Inclinazione del solenoide — Azione mutua dei solenoidi e delle magneti — Circuiti astatici — Teoria del magnetismo — Esperienza di Ampére. . . . . Pag. 511

CAPITOLO XIII — *Elettromagneti — Telegrafi* = Magnetizzazione per mezzo delle correnti — Elettrocalamite — Magnetismo residuo — Telegrafia elettrica

— Pile — Linee — Telegrafo a quadrante — Soneria — Telegrafo Morse — Telegrafo Hughes — Telegrafi elettrochimici — Telegrafo autografico di Caselli — Telegrafo Meyer — Telegrafia sottomarina — Macchine elettromotrici — Motore di Froment . . . . . Pag. 525

CAPITOLO XIV — *Effetti calorifici della corrente — Luce elettrica* = Riscaldamento dei fili metallici col passaggio della corrente — Legge del riscaldamento di un filo omogeneo — Conversione del calore in lavoro — Luce elettrica — Luce dell'arco voltaico — Regolatore di Duboscq . . . . Pag. 547

CAPITOLO XV — *Effetti chimici della corrente* = Elettrolisi — Trasporto degl elementi — Elettrolisi dei composti binari — Elettrolisi dei sali — Elettrolisi dell'aqua — Leggi di Faraday — Polarizzazione degli elettrodi — Doratura ed argentatura galvanica — Elettrotipia — Diverse applicazioni dell'elettrotipia Pag. 554

CAPITOLO XVI — *Induzione* = Correnti di induzione — Influenza prodotta al cominciare od al cessare di una corrente — Induzione prodotta dalla variazione di intensità di una corrente — Induzione prodotta dalla variazione di distanza — Induzione magneto-elettrica — Legge di Lenz — Induzione per azione della terra — Induzione di una corrente sopra sè stessa — Extracorrente — Rocchetto di Ruhmkorff — Scintilla del rocchetto — Aspetto della scintilla nei gas rarefatti — Azione delle calamite sulle correnti trasmesse nei gas rarefatti — Macchine elettromagnetiche — Macchina di Clarke — Macchine magneto-elettriche dei fari — Rocchello di Siemens — Macchine dinamo-elettriche — Macchina di Ladd — Macchina dinamo-elettrica di Pacinotti e Gramme — Magnetismo di rotazione . . . . . Pag. 562

LIBRO VI.

ACUSTICA.

CAPITOLO I — *Produzione e propagazione del suono* = Il suono è vibrazione — Differenza tra suono e rumore — Veicolo del suono — Velocità del suono nell'aria — Velocità del suono nei liquidi — Velocità del suono nei solidi — La velocità è la stessa per tutti i suoni — Meccanismo della propagazione del suono — Propagazione del suono in un mezzo indefinito — Riflessione delle onde sonore — Diversi casi della riflessione del suono — Eco — Portavoce Cornetto acustico — Interferenza del suono . . . . . Pag. 588

CAPITOLO II — *Valutazione numerica dei suoni* = Qualità del suono — Intervalli musicali — Gamma — Consonanze e dissonanze — Scala temperata — Limite dei suoni adoperati nella musica — Misura del numero assoluto di vibrazioni — Sirena — Metodo grafico — Metodo dei battimenti . . . Pag. 609

CAPITOLO III — *Leggi delle vibrazioni* = Diverse sorta di vibrazioni dei solidi — Vibrazioni trasversali delle corde — Leggi delle vibrazioni trasversali delle corde — Verificazione sperimentale, sonometro — Suoni armonici — Vibrazioni longitudinali delle corde — Istrumenti a corde — Vibrazioni trasversali nei si-

stemi rigidi — Verghe — Lamine — Campane — Diapson — Legge generale delle vibrazioni di un sistema solido — Tubi sonori — Nelle canne l'aria è il corpo sonoro — Leggi delle dimensioni omologhe — Legge di Bernoulli — Origine dei nodi e dei ventri — Applicazione alla misura della velocità del suono nei diversi gas — Tubi a pivetta — Istrumenti a fiato — Fiamme manometriche . . . . . Pag. 622

CAPITOLO IV — *Studio ottico dei suoni — Metallo* = Studio ottico del suono — Esperienza di Lissajous — Comparatore ottico — Metallo dei suoni — Risonatori di Helmoltz — Sintesi dei suoni — Telefoni — Microfono — Fonografo. Pag. 653

LIBRO V.

OTTICA — CALOR RAGGIANTE

RADIAZIONI DIVERSE.

CAPITOLO I — *Propagazione della luce* = Luce — Propagazione rettilinea della luce — Camera oscura — Teoria delle ombre — Velocità della luce — Velocità della luce dedotta dall'osservazione degli eclissi dei satelliti di Giove — Esperienza di Fiseau — Esperienza di Focault — Fotometria — Fotometro di Bouger — Fotometro di Rumford — Fotometro di Bunsen . . . . . Pag. 648

CAPITOLO II — *Riflessione della luce* = Riflessione — Leggi della riflessione — Orizzonte artificiale — Riflessione irregolare — Specchi — Specchio piano — Specchi multipli — Specchi paralleli — Specchi ad angolo retto — Specchi inclinati a 45.° — Caleidoscopio — Specchi sferici — Fuochi conjugati — Fuoco principale — Posizioni relative dei due fuochi conjugati — Discussione della formola dello specchio concavo — Formazione delle imagini — Grandezza delle imagini — Immagini ottenute per projezione — Caustica di riflessione — Immagine virtuale dello specchio concavo — Osservazione sulle immagini virtuali — Specchio convesso — Anaformosi — Di alcune applicazioni degli specchi sferici . . . . . Pag. 660

CAPITOLO III — *Rifrazione della luce* = Rifrazione — Mezzi più o meno rifrangenti — Leggi della rifrazione — Verificazione delle leggi di Descartes — Indice di rifrazione — Angolo limite — Miraggio — Camera chiara — Rifrazione attraverso ad una lamina a faccie parallele — Immagini multiple prodotte dalle lamine a faccie parallele — Rifrazione attraverso ad un prisma — Relazione fra i diversi elementi della rifrazione prodotta da un prisma — Deviazione minima — Doppia rifrazione . . . . . Pag. 680

CAPITOLO IV — *Lenti* = Lenti — Fuoco principale — Centro ottico — Assi secondari — Fuochi conjugati — Posizioni relative dei fuochi conjugati — Formole delle lenti — Caso in cui il punto luminoso non si trova sull'asse principale — Discussione della formola delle lenti — Costruzione delle immagini — Immagini per projezione — Immagini virtuali — Lente concava — Lenti scaglionate . . . . . Pag. 696

CAPITOLO V — *Dispersione — Spettro* = Esperienza di Newton — Conseguenze dell'esperienza di Newton — Composizione dei colori — Spettro solare — Ricomposizione della luce bianca — Composizione dei colori — Colori complementari — Colori propri dei corpi — Colorazione per trasparenza — Spettri delle luci artificiali — Acromatismo — Possibilità dell' acromatismo — Lenti acromatiche — Arcobaleno — Mezzi per ottenere uno spettro puro — Righe dello spettro — Spettroscopio — Diverse radiazioni dello spettro — Radiazioni fosforogeniche — Diverse sorta di spettri — Analisi spettrale — Rovesciamento delle righe — Analisi chimica dell'atmosfera solare. . . . . Pag. 710

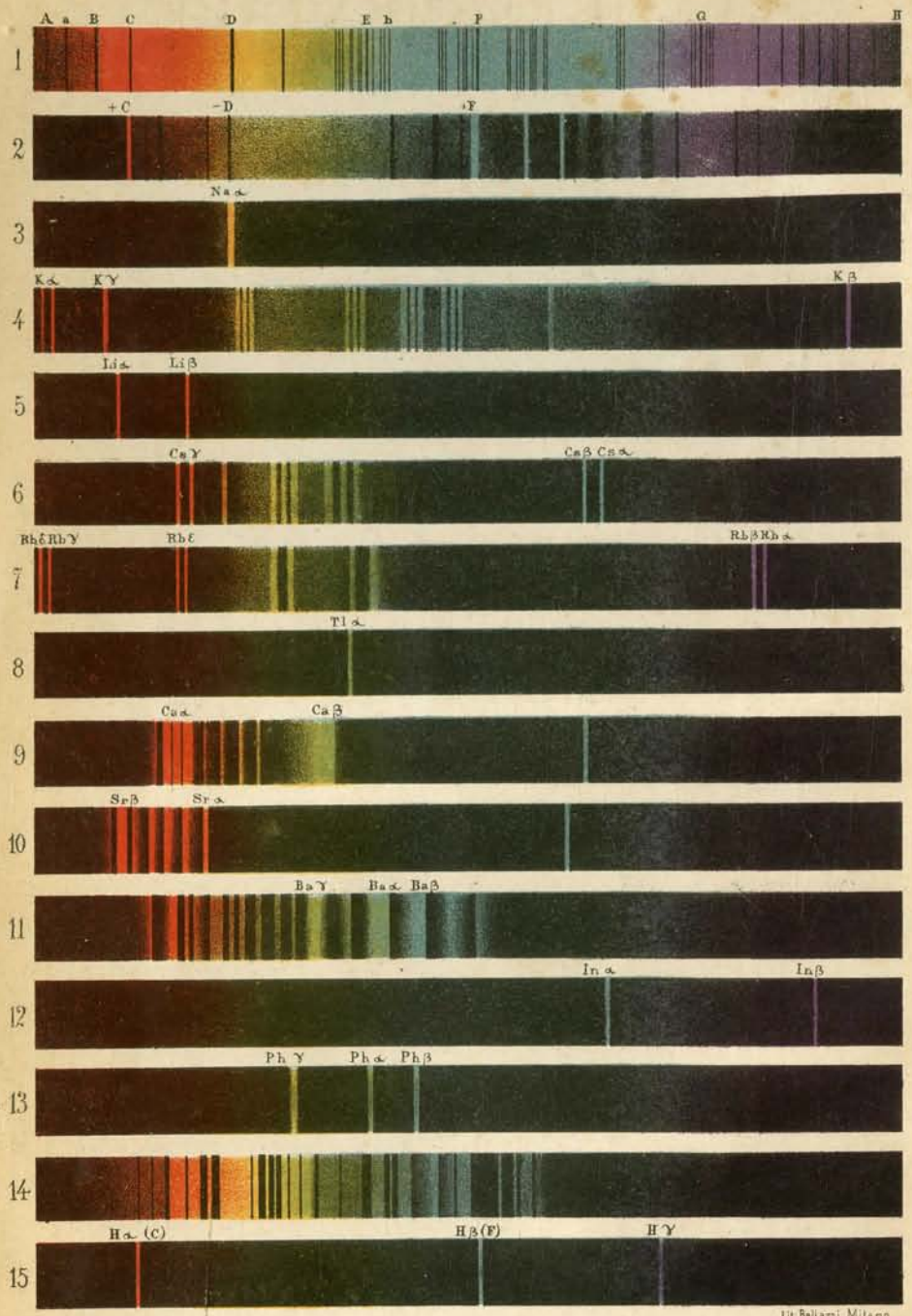
CAPITOLO VI — *Visione ed istrumenti d'ottica* = Descrizione dell' occhio — Meccanismo della visione — Distanza della visione distinta — Ufficio dei due occhi nella visione — Visione binoccolare — Steoroscopio — Istrumenti d'ottica — Occhiali — Camera oscura — Camera oscura dei fotografi — Impiego delle lenti nelle projezioni — Microscopio solare — Lanterna magica — Microscopio semplice — Cannocchiale astronomico — Cannocchiale di Galileo — Telescopio — Telescopio di Newton — Telescopio a specchio inargentato — Lavori del signor Focault . . . . . Pag. 728

CAPITOLO VII — *Calor raggiante* = Irradiazione — Il calore si propaga in linea retta — Legge del raffreddamento — Apparecchi termoscopici adoperati nello studio del calor raggiante — Emissione del calore— Circostanze che influiscono sul potere emissivo — Influenza dell'inclinazione dei raggi rispetto alla superfice che gli emette — Legge dei quadrati delle distanze — Legge della riflessione del calore — Specchi ustori — Specchi conjugati — Potere riflettente — Potere diffusivo — Potere assorbente — Influenza della natura della sorgente — Uguaglianza dei poteri emissivi ed assorbenti — Potere diatermico — Influenza della natura della sostanza — Influenza dello spessore — Influenza della natura della sorgente — Identità del calore e della luce — Rugiada. Pag. 755

BIBLIOTECA DELLE FACOLTÀ DI LETTERE E FILOSOFIA ★ TORINO

81286

147628 /286



Lit. Bellarni, Milano

SPETTRI
DI DIVERSE SORGENTI LUMINOSE
(Solare, Stellari, Metalliche e Gasose)